

А. В. ТЕРЕМОВ, Р. А. ПЕТРОСОВА

Биология

БИОЛОГИЧЕСКИЕ
СИСТЕМЫ
И ПРОЦЕССЫ

10

КЛАСС

ГУМАНИТАРНЫЙ
ИЗДАТЕЛЬСКИЙ
ЦЕНТР

ВЛАДОС

А.В. ТЕРЕМОВ, Р.А. ПЕТРОСОВА

Биология

Биологические системы и процессы

10
класс

Учебник
для учащихся общеобразовательных
учреждений

Под редакцией А.И. Никишова

*Рекомендовано Министерством образования и науки
Российской Федерации*

Гуманитарный
издательский
центр



Москва • 2012

УДК 57(075.3)
ББК 28я721-1
Т35

Теремов А.В., Петросова Р.А.

Т35 Биология. Биологические системы и процессы. 10 класс : учеб. для учащихся общеобразоват. учреждений / А.В. Теремов, Р.А. Петросова ; под ред. А.И. Никишова. – М. : Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2012. – 223 с. : ил.

ISBN 978-5-691-01634-9
Агентство СІР РГБ

УДК 57(075.3)
ББК 28я721-1

ISBN 978-5-691-01634-9

© Теремов А.В., Петросова Р.А., 2011
© ООО «Гуманитарный издательский центр ВЛАДОС», 2011
© Оформление. ООО «Гуманитарный издательский центр ВЛАДОС», 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

Как пользоваться учебником	5
Введение	7
Глава 1. Общее понятие о биологических системах и процессах	9
§ 1. Организация биологических систем и их особенности	10
§ 2. Разнообразие биологических систем и процессов	16
Глава 2. Химический состав и строение клетки	23
§ 3. Цитология как наука	24
§ 4. Химический состав клетки. Вода и минеральные вещества...	29
§ 5. Белки	34
§ 6. Липиды. Углеводы. Витамины	39
§ 7. Нуклеиновые кислоты. АТФ	45
§ 8. Строение и функции органоидов клетки	50
Глава 3. Жизнедеятельность клетки	61
§ 9. Первичный синтез органических веществ в клетке	62
§ 10. Процессы расщепления веществ в клетке	68
§ 11. Биосинтез белка	73
§ 12. Клеточный цикл и митоз	79
§ 13. Мейоз и образование гамет	85
§ 14. Неклеточные формы жизни – вирусы	92
Глава 4. Строение и жизнедеятельность организмов	97
§ 15. Организм как биологическая система	98
§ 16. Ткани и органы организмов	104
§ 17. Опора тела и движение организмов	112
§ 18. Питание и пищеварение у организмов	120
§ 19. Дыхание и транспорт веществ у организмов	125

§ 20. Выделение и защита у организмов	131
§ 21. Раздражимость и регуляция у организмов	137
§ 22. Размножение организмов	143
§ 23. Рост и развитие организмов	148
Глава 5. Наследственность и изменчивость организмов.	153
§ 24. Генетика как наука	154
§ 25. Моногибридное скрещивание	158
§ 26. Дигибридное скрещивание	163
§ 27. Сцепленное наследование признаков	170
§ 28. Генетика пола.	175
§ 29. Ненаследственная изменчивость	180
§ 30. Наследственная изменчивость	184
§ 31. Генетика человека	191
Глава 6. Селекция и биотехнология	199
§ 32. Селекция как процесс и наука	200
§ 33. Методы и достижения селекции растений и животных	207
§ 34. Биотехнология	214
Заключение	222

КАК ПОЛЬЗОВАТЬСЯ УЧЕБНИКОМ

В учебник включены сведения по основным биологическим системам: клетке и организму. Рассматриваются химический состав и строение клеток, строение и жизнедеятельность одноклеточных и многоклеточных организмов, явлений наследственности и изменчивости признаков, методов и достижений по созданию сортов культурных растений, пород домашних животных и штаммов микроорганизмов. Материал учебника раскрывает структурно-функциональную организацию биологических систем разного ранга, особенности происходящих в них процессов.

Для лучшей ориентировки в учебнике ознакомьтесь с его оглавлением. Это поможет вам быстро найти нужный материал. Кроме того, вверху на каждой странице дано название соответствующей главы. Перед параграфами приведены задания и вопросы, которые помогут вызвать интерес к предлагаемому материалу, желание разобраться в его содержании. При работе с текстом обращайтесь к соответствующим рисункам, схемам и подписям к ним.

В конце каждого параграфа помещены вопросы и задания для закрепления и самопроверки полученных знаний. Основные понятия (требующие запоминания) в тексте выделены курсивом и перечислены после параграфа под значком с изображением заточенного карандаша () , вопросы – вопросительным знаком () , а практические задания – значком с изображением микроскопа () .

Таблицы (в домашних заданиях) перед заполнением перечертите в тетрадь. Проверая усвоение учебного материала, обратите внимание на задания, связанные с проведением наблюдений в природе и в лабораторных условиях. При выполнении этих заданий ведите записи в рабочей тетради.

Текст, выделенный двумя треугольниками (►◄) – дополнительный: предназначен для учащихся, проявляющих повышенный интерес к биологии. После некоторых параграфов приведены дополнительные научные сведения, тоже не обязательные для запоминания, и обозначенные изображением книги ().

Берегите учебник: не вкладывайте в него тетради, не перегибайте его, аккуратно перелистывайте страницы.

ВВЕДЕНИЕ

Естественнонаучное знание (изучение явлений природы и различных природных объектов) становится неотъемлемой частью культуры современного человека. Это целый комплекс научных знаний: науки о Земле (геология, география), о физических, химических, биологических процессах и системах (физика, химия, биология), о космосе (астрономия, космология). Каждая из этих естественных наук исследует закономерности, позволяющие предсказывать ход событий, происходящих в природе.

Научное познание таит в себе парадокс. Вначале из беспорядочно накопленных отдельных фактов постепенно рождается объяснение ранее загадочных явлений, затем вскрывается сущность предметов и процессов, формулируется научная теория.

В период античности первой формой научного знания стала *натурфилософия* (от лат. *nature* – природа) или философия природы. Объектом ее изучения были все явления, происходившие в природе. Натурфилософия способствовала накоплению фактов и создала предпосылки для обособления в XVI–XVII вв. самостоятельных наук о живой и неживой природе. Произошла дифференциация естественных наук, в каждой из них выделились свои объекты изучения, появились специфические методы исследования. Однако все естественные науки имеют общие исторические корни.

С незапамятных времен человек пытался проникнуть в тайны живой природы, разгадать загадку жизни. Этот интерес и послужил основой для возникновения *биологии* (от греч. *биос* – жизнь и *логос* – учение) – науки о жизни, ее формах, закономерностях



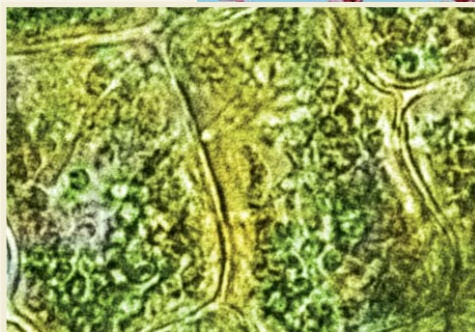
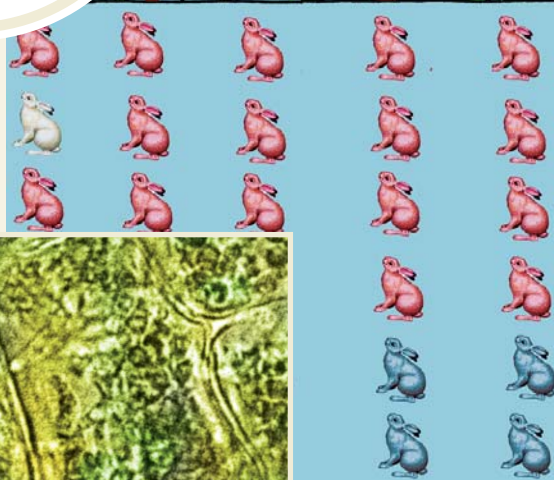
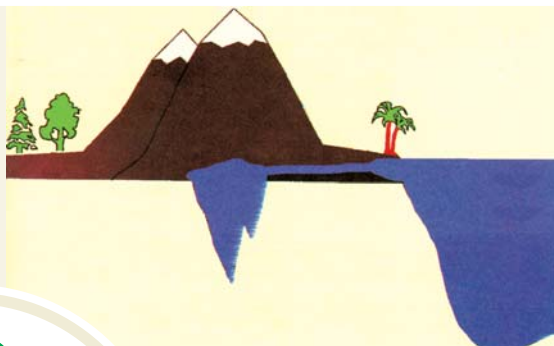
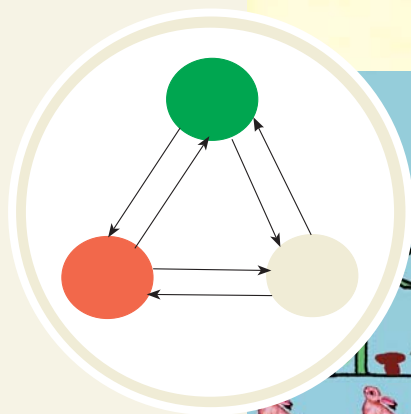
существования и развития. Объекты изучения биологии – живые тела природы, или организмы. Биология рассматривает их строение, жизнедеятельность, связи между собой и с неживой природой.

Термин «биология» ввели в научный оборот в 1802 г., независимо друг от друга, французский ученый Ж.Б. Ламарк и немецкий ученый Г.Р. Тревиранус. Начальные биологические сведения прикладного характера встречались в древних цивилизациях Месопотамии и Египта, Греции и Рима. В то время и зародились две первые биологические науки – ботаника и зоология. В это же время появилась и стала развиваться медицина, а вместе с ней и еще две области биологии – анатомия и физиология. С изобретением микроскопа появилась возможность изучать клеточное строение организмов. Значительных успехов биология достигла на рубеже XIX–XX вв., когда в ней выделились микробиология, цитология, эмбриология, генетика и экология. На базе исторического подхода к познанию живой природы в это же время возникло эволюционное учение, ставшее краеугольным камнем современной науки о жизни.

Бурное развитие биологии в XX в. привело к специализации отдельных ее отраслей. Появились биологические науки, изучающие отдельные проявления жизни. Вместе с тем наряду с дифференциацией наук о природе в XX в. началась их интеграция. На стыке нескольких естественных наук оформились биофизика, биохимия, молекулярная биология, бионика. Освоение человеком космического пространства привело к появлению космической биологии. Исследование процессов эволюции живой природы, высшей ступенью которых стало возникновение разумной формы жизни – человека, создало предпосылку для интеграции биологии с гуманитарными науками – социологией, культурологией, психологией, археологией, этнографией.

Современная биология вышла на передовые рубежи среди естественных наук и представляет в настоящее время комплексную систему различных знаний. Надеемся, что изучение биологических систем и процессов в старшей школе поможет вам узнать немало нового и интересного о живой природе, найти ответы на интересующие вас вопросы, пробудит и разовьет интерес к науке о жизни – биологии.

ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ О БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И ПРОЦЕССАХ



§ 1.

ОРГАНИЗАЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ
И ИХ ОСОБЕННОСТИ

Рассмотрите рисунок 1. Чем система отличается от ее частей и элементов? Вспомните основные отличия живых тел природы от неживых.

Живая материя на нашей планете существует в форме разнообразных *биологических систем (биосистем)* – клеток, организмов, популяций видов, биоценозов, биогеоценозов и биосферы. Они состоят из разных компонентов, отличаются друг от друга происходящими в них процессами и выполняемыми функциями. Вместе с тем организация биосистем подчинена общим принципам, определяющим их функционирование и развитие.

Общее понятие о системе. Термин «система» используется в разных областях науки. Согласно современным представлениям, *система* – есть совокупность

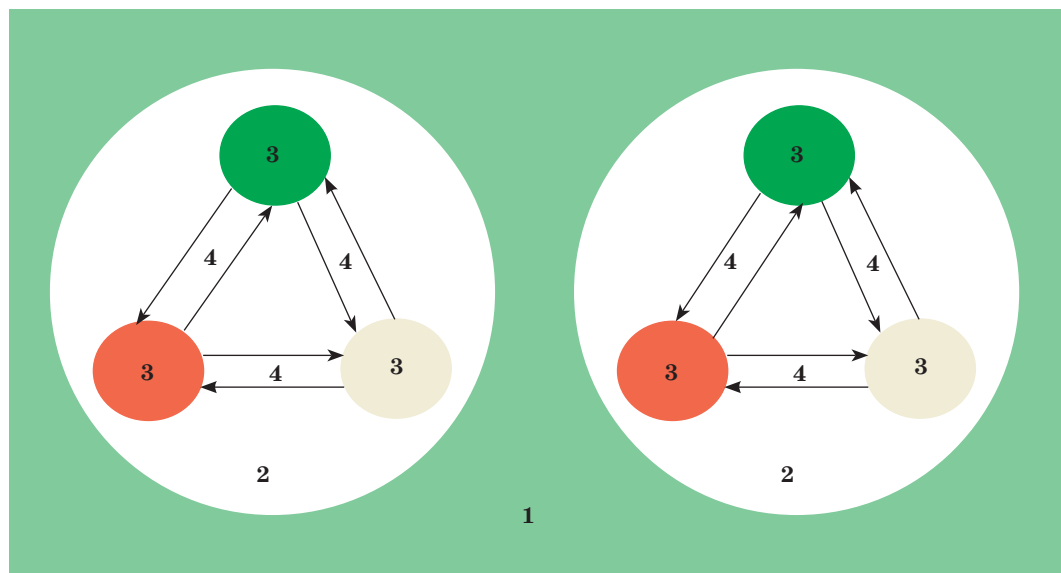


Рис. 1. Основные компоненты системы и связи между ними: 1 – система; 2 – подсистемы (части системы); 3 – элементы; 4 – связи между элементами и частями (структура системы);

элементов, находящихся во взаимодействии, и образующая единое и четко разделенное на части целое.

Выделяют разные типы систем: неорганические и органические, простые и сложные, естественные и искусственные, открытые и закрытые. Несмотря на большое разнообразие, в любых системах всегда присутствуют элементы, части (подсистемы) и связи между ними – структура системы (рис. 1).

Элементы – составные компоненты системы. Так, если в качестве примера системы рассмотреть клетку, ее компоненты (элементы системы) – атомы и молекулы входят в состав образующих клетку *частей (подсистем)* – органоидов. Благодаря органоидам клетка питается, дышит, делится и растет, т.е. ведет себя как целостное образование. Следовательно, атомы и молекулы – необходимые компоненты клетки, но не достаточные для нее как целостной системы. В клетке (как системе), кроме элементов должны обязательно присутствовать ее части – органоиды.

Структура системы – связи элементов в системе, обеспечивающие ее существование как целостного образования. В качестве примера, иллюстрирующего значение структуры, рассмотрим необычную портретную картину, выполненную в жанре маньеризма итальянским художником XVI в. Д. Арчимбольди (рис. 2). Эта картина состоит из овощей, фруктов, цветков, колосьев и др. При взгляде на нее с близкого расстояния видны лишь отдельные элементы, своеобразный натюрморт, который издали образует систему – аллегорический портрет, возникающий благодаря продуманной художником структуре – особому сочетанию формы и цвета, слагающих картину элементов.

Принципы организации биологических систем. Один из наиболее важных принципов организации биосистем – их *открытость* для поступающих извне веществ, энергии и информации (рис. 3). Почти все природные системы открытые. Согласно второму закону термодинамики – одного из фундаментальных законов физики, любая биосистема использует лишь часть общей энергии от поступающих в нее химических соединений. Эту часть энергии называют свободной. Остальная энергия рассеивается в виде тепла. Любая система характеризуется энтропией – мерой ее неупо-



Рис. 2. Джузеппе Арчимбольди. «Рудольф II в виде Вергумна», 1591 г.



Рис. 3. Открытость биологических систем для веществ, энергии и информации – одно из фундаментальных свойств живого

ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ БИОСИСТЕМ

- открытость
- высокая упорядоченность
- оптимальность конструкции
- управляемость
- иерархичность

рядоченности, отклонения реального процесса от идеального. Чем больше энтропия системы, тем меньше ее упорядоченность и количество свободной, т.е. доступной, энергии. Для уменьшения энтропии необходимо совершить работу (рис. 4). В неживых системах энтропия постоянно растет, а значит, увеличивается неупорядоченность системы, или хаос. Например, горные породы вследствие роста энтропии превращаются в песок, который перемещается водой, ветром и силой земного тяготения (рис. 5). Биологические, или живые, системы, наоборот: непрерывно совершают работу по уменьшению энтропии. При этом они увеличивают свою организацию, т.е. согласованность между образующими их частями и элементами, что позволяет системе эффективно использовать свободную энергию. Таким образом, биосистемы построены по принципу *высокой упорядоченности*, обеспечивающего эффективное использование поступающей в них энергии.

Высокая упорядоченность биосистем достигается через реализацию в их строении принципа *оптимальности конструкции*. Практически все биосистемы – результат естественного отбора, сохранившего в процессе эволюции наиболее удачные сочетания элементов и частей, образовавших как отдельные организмы, так и их совокупности – популяции и сообщества.

Принцип оптимальности конструкции наиболее отчетливо заметен в химическом составе тел организмов.



Рис. 4. Для наведения порядка на книжной полке необходимо затратить энергию и совершить работу, т.е. уменьшить энтропию системы – ее неупорядоченность

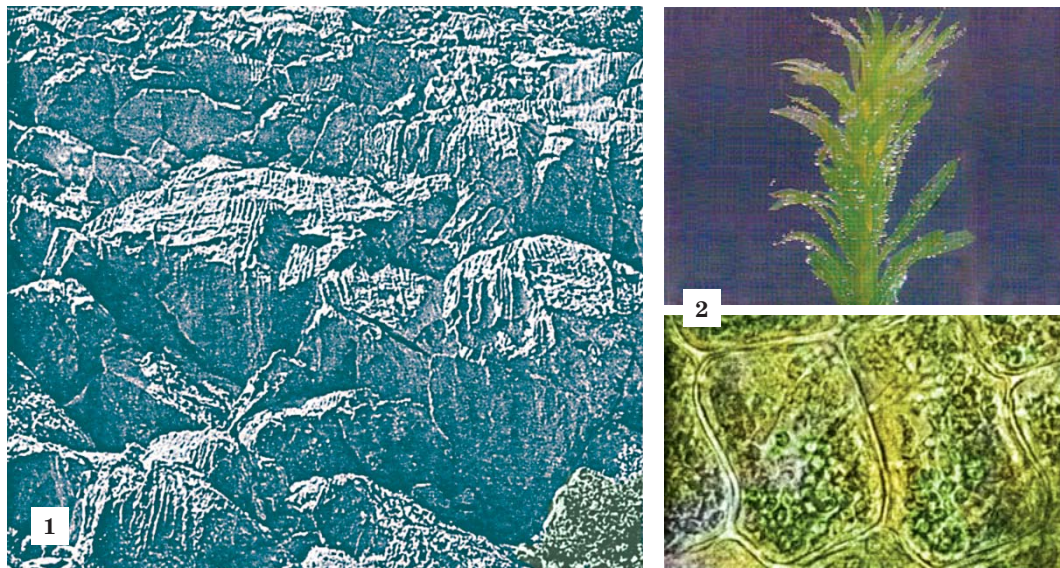


Рис. 5. Системы с разным уровнем упорядоченности: 1 – неживые тела природы (низкая упорядоченность); 2 – живые тела (высокая упорядоченность)

Так, из всех известных к настоящему времени в науке химических элементов в молекулах неорганических и органических соединений живого постоянно встречаются только 22 элемента. При этом 99% из них приходится на долю водорода, кислорода, углерода и азота. Биосистемы включают в свой состав наиболее легкие из элементов земной коры.

Примером реализации в биосистемах принципа оптимальности конструкции служит также экономия строительного материала. Следствие экономии – минимизация живого вещества. Так, вся наследственная программа одного человеческого организма зашифрована всего лишь в 10^{-15} г ДНК, расположенных в ядре зиготы – оплодотворенной яйцеклетки. Если эту информацию перевести на язык слов, то для их записи на бумаге понадобится более 100 томов книг.

► Благодаря компактности биосистем создается колоссальный эффект усиления. Так, при переводе генетической программы с молекулярного уровня на уровень признаков взрослого организма увеличение информации достигает 22 порядков – величины, о ко-



Рис. 6. Переход организма от состояния бодрствования ко сну и обратно – пример управляемости биосистем

торой могут только мечтать специалисты по электронной технике. Один из создателей теории биологических систем – австрийский ученый Людвиг фон Бергаланфи (1901–1972) доказал, что благодаря миниатюрности внутриклеточных структур макроскопические параметры биосистем (размеры, скорость обмена веществ, солевой и газовый состав внутренней среды) остаются относительно постоянными, хотя непрерывно происходят разнообразные изменения ввода и вывода веществ, энергии и информации. ◀

Информации принадлежит ведущая роль в приспособлении биосистемы к изменениям среды. Посредством разнообразных сигналов (нервных импульсов, гормонов, ионов, звуков, запахов) биосистемы достигают согласованности в работе образующих их компонентов. Они максимально выгодно для себя используют вещества и энергию, поступающие из окружающей среды. Следовательно, биосистемы построены в соответствии с принципом *управляемости*, обеспечивающим ее переход из одного состояния в другое (рис. 6).

Практически все биосистемы обладают чрезвычайно сложным строением. В этом проявляется принцип *иерархичности*, т.е. соподчиненности элементов и час-

тей. Например, многоклеточный организм состоит из органов, тканей и клеток, образующих единое целое – самостоятельную биологическую систему. Согласованность работы частей этой системы достигается благодаря подчинению работы клеток – тканям, тканей – органам, органов – системе органов, систем органов – всему организму. Организмы, в свою очередь, образуют популяции, существующие по законам взаимовыгодных, нейтральных, или взаимовредных отношений между особями видов растений, животных, грибов и бактерий. Популяции образуют сообщества организмов – биоценозы, в которых биотические взаимоотношения объединены в единую вещественно-энергетическую сеть с неживой природой.

Итак, в биосистемах проявляются общие принципы организации открытых для веществ, энергии и информации высокоупорядоченных систем, обладающих четко выраженной структурой, т.е. связями между элементами и частями. Эти части способны к приспособительным изменениям, происходящим как в самой биосистеме, так и в окружающей среде, что лежит в основе адаптации живого к различным условиям среды.



Биологическая система (биосистема); элементы, структура биосистемы; принципы организации биосистем: открытость, высокая упорядоченность, оптимальность конструкции, управляемость, иерархичность.



1. Дайте определение системы. В чем выражается ее структура? Приведите примеры биологических систем. 2. Почему биосистемы считают открытыми системами? 3. Объясните с позиций термодинамики работу биосистемы по преодолению нарастающей в ней энтропии. Идет ли такая работа в неживых системах? 4. Благодаря чему достигается упорядоченность биосистем? 5. Каково значение информации, поступающей в биосистему? 6. Докажите на примере любой биосистемы, что она иерархична. 7. Заполните (в тетради) таблицу.

Биологические системы

Принципы организации	Примеры проявления принципа организации

§ 2.

РАЗНООБРАЗИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ

Вспомните основные уровни организации жизни на Земле. Что является структурно-функциональной единицей каждого уровня организации? Какие процессы жизнедеятельности характерны для каждого из уровней?

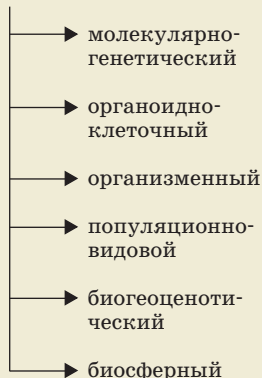
Изучение биологических систем показывает, что все они отличаются друг от друга степенью сложности, своеобразием структур, процессов и функций. Простые биосистемы входят в состав более сложных; биохимические реакции на низших уровнях живого, служат предпосылкой для процессов, происходящих на высших уровнях биологической организации.

Уровни организации биосистем. По наличию специфических структурно-функциональных единиц и происходящих с ними процессов выделяют шесть основных *уровней организации жизни*: молекулярно-генетический, органоидно-клеточный, организменный, популяционно-видовой, биогеоценотический и биосферный (рис. 7).

Существование уровней организации живой природы, т.е. биосистем разной степени сложности, обеспечивает единство жизни на нашей планете, ее целостность как космопланетарного явления. Переход от одного уровня к другому сопровождается, с одной стороны, полным сохранением качеств биосистем предыдущего уровня, а с другой – появлением новых свойств, характерных для более высокого уровня организации.

Например, с объединением клеток и межклеточного вещества в ткани многоклеточного организма, свойства отдельных клеток не исчезают. Они продолжают питаться, дышать, выделять конечные продукты обмена веществ, реагировать на раздражения среды. Вместе с тем, ткань приобретает в процессе развития многоклеточного организма ряд новых свойств, главное из которых – дифференциация клеток, т.е. их специализация по выполняемым функциям.

Другой пример: организмы, принадлежащие к одному виду, образуют в природе популяции. Каждая особь

**УРОВНИ
ОРГАНИЗАЦИИ
БИОСИСТЕМ**

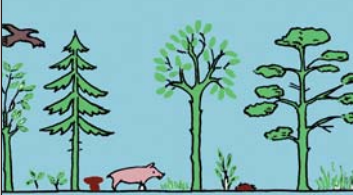
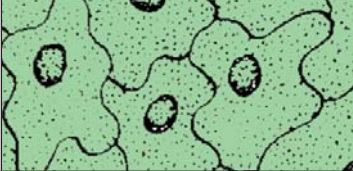
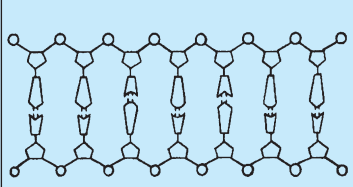
Уровни организации биосистем		Происходящие процессы
Биосферный		Возникновение жизни на Земле, историческое развитие органического мира, распределение живого вещества на планете, биогеохимический круговорот веществ и поток энергии в биосфере
Биогеоценотический		Передача биомассы с заключенной в ней энергией по трофическим уровням биогеоценозов, саморегуляция, самовоспроизводство и саморазвитие биогеоценозов
Популяционно-видовой		Действие движущих сил эволюции (наследственности и изменчивости, естественного отбора, дрейфа генов, изоляции), изменение генофонда популяции, видообразование, образование надвидовых систематических групп (родов, семейств, классов и др.)
Организменный		Движение, питание, транспорт веществ, дыхание, выделение и защита, изменчивость, раздражимость, регуляция, размножение и рост организмов
Органоидно-клеточный		Обмен веществ и превращение энергии, дыхание, выделение, раздражимость, деление и рост клетки
Молекулярно-генетический		Кодирование, передача, реализация и изменение (мутации) генетической информации

Рис. 7. Уровни организации биосистем и происходящие на них процессы

в популяции имеет свои наследственные признаки, которые сохраняются на протяжении ее жизни неизменными. Популяция как биосистема более высокого ранга, чем организм, приобретает новое свойство – общий генофонд, объединяющий генотипы всех образующих популяцию особей. Генофонд популяции может направленно изменяться под действием движущих сил эволюции, следствием чего становится образование новых видов организмов, в то время как отдельный организм не эволюционирует.

Процессы, происходящие в биосистемах. Для биосистем любого ранга характерны определенные процессы. Несмотря на большое разнообразие химических, физиологических, онтогенетических, эволюционных и иных процессов, практически во всех биосистемах происходят обмен веществ и превращение энергии, самовоспроизведение, саморегуляция, саморазвитие и приспособление к окружающей среде. Рассмотрим некоторые из этих процессов.

Обмен веществ и превращение энергии происходят на всех уровнях организации биосистем. На молекулярно-генетическом и органоидно-клеточном уровнях осуществляется фиксация солнечной энергии молекулами хлорофилла и ее преобразование в энергию макроэргических связей АТФ, а далее в химическую энергию углеводов. Реакции фотосинтеза вовлекают в биосистемы практически неиссякаемый источник солнечной энергии. Затем она в виде углеводов, белков, жиров и других синтезированных органических соединений передается по пищевым цепям от автотрофных организмов гетеротрофным, т.е. переходит на биогеоценотический и биосферный уровни (рис. 8). В процессе этих превращений один вид энергии переходит в другой, исходные вещества химических реакций преобразуются в конечные продукты.

Самовоспроизведение – один из наиболее характерных процессов в биосистемах. На молекулярно-генетическом уровне в ядрах клеток организмов осуществляется редупликация (самоудвоение) ДНК, лежащая в основе передачи наследственных свойств от родителей к потомству. На остальных уровнях организации биосистем процесс самовоспроизведения характеризуется большим разнообразием форм и способов: от де-

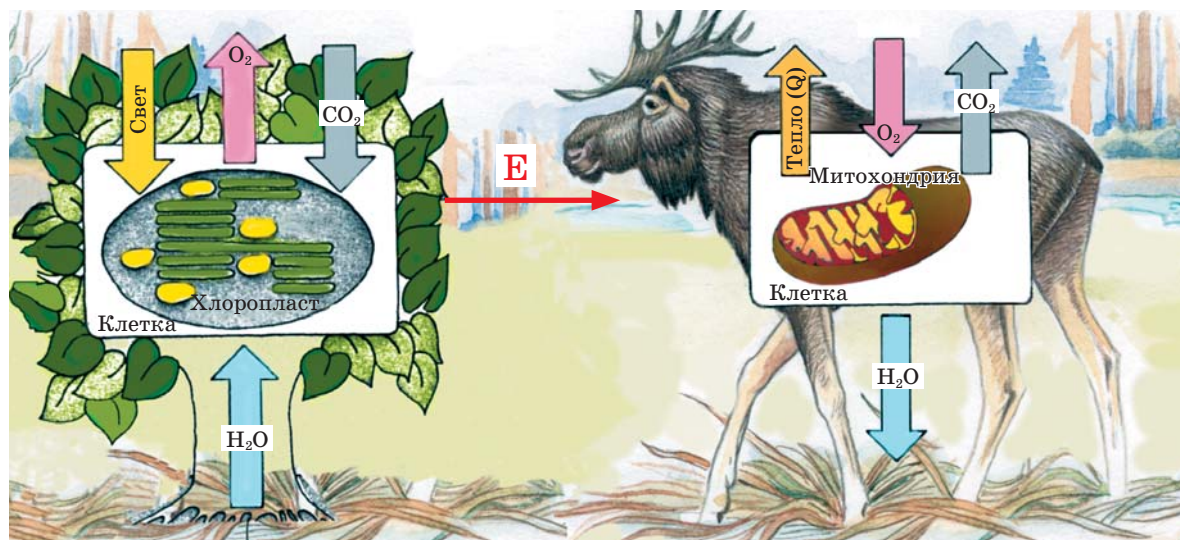


Рис. 8. Обмен веществ и превращение энергии в биосистемах

ления органоидов (пластид и митохондрий) и клеток (митоз, мейоз) до полового и бесполого размножения организмов и воспроизведения живого вещества в биосфере. Самовоспроизведение обеспечивает существование живой материи на нашей планете в пространстве и во времени, т.е. в разных средах жизни и на протяжении всей истории развития органического мира.

Саморегуляция проявляется в способности биосистем поддерживать постоянство своего химического состава и интенсивность происходящих процессов. Главная особенность саморегуляции заключается в том, что регулирующие механизмы действуют на биосистему не извне, а формируются в ней самой. Примером саморегуляции на молекулярно-генетическом уровне служат ферментативные реакции. Концентрация конечных продуктов в этих реакциях поддерживается автоматически, что влияет на работу катализирующих их белков-ферментов (рис. 9).

На органоидно-клеточном уровне саморегуляция проявляется в самосборке органоидов, поддержании постоянства концентрации ионов, белков, углеводов и других соединений в цитоплазме клетки на определенном уровне. На организменном уровне саморегу-

ления осуществляется через нервную и эндокринную системы, а в популяциях организмов – благодаря увеличению или уменьшению рождаемости и смертности. В биогеоценозах и биосфере саморегуляции подвержены потоки энергии и круговороты веществ, осуществляемые в соответствии с распределением биомассы организмов на планете, условиями неживой природы, хозяйственной деятельностью человека.

Биосистемы обладают способностью к *саморазвитию*, заложенному структурой образующих их элементов. На клеточном и организменном уровнях этот процесс связан с реализацией генетической программы

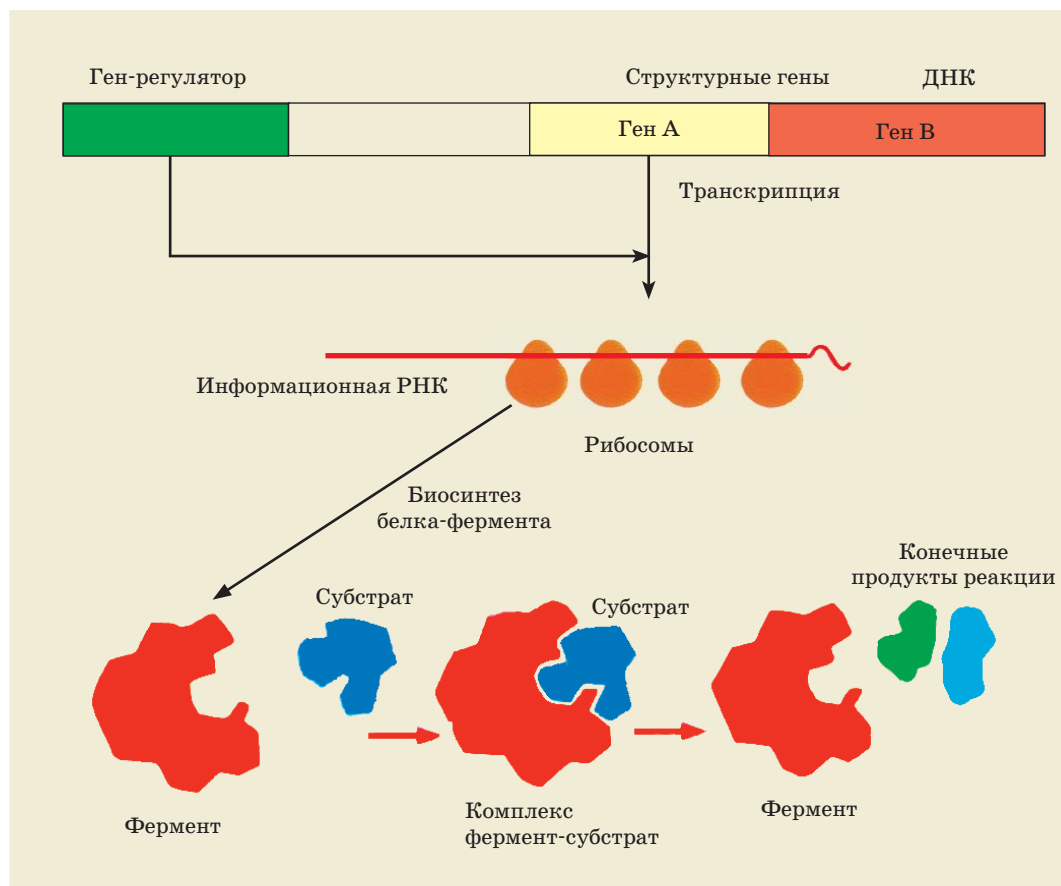


Рис. 9. Саморегуляция на молекулярно-генетическом уровне

и воздействием условий окружающей среды на проявление признаков. В процессе индивидуального развития организма происходит увеличение массы его тела за счет роста числа клеток, развития тканей, органов и их систем. Процесс саморазвития происходит также на популяционно-видовом и биогеоценотическом уровнях. Например, историческое развитие органического мира от простых форм к сложным привело к возникновению разнообразия видов и биоценозов на нашей планете. Изменения, вносимые в природу деятельностью организмов, в том числе и человеком, приводят к смене одних природных сообществ другими.

Определение жизни. Рассмотренные уровни организации биологических систем и происходящие процессы позволяют дать обобщенное определение жизни как основного способа существования биологических систем. Известно несколько таких определений. Например, древнегреческий ученый Аристотель определял жизнь как «питание, рост и одряхление». Французский химик А. Лавуазье называл жизнь «горением», связанным с окислением питательных веществ кислородом. Русский физиолог И.П. Павлов определял жизнь как «сложный химический процесс».

Одно из первых научных определений жизни в 1894 г. дал немецкий философ Ф. Энгельс. В книге «Диалектика природы» он привел ставшее классическим определение: «Жизнь есть способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их внешней природой, ... причем, с прекращением этого обмена веществ прекращается и жизнь, что приводит к разложению белка».

С открытием нуклеиновых кислот (носителей генетической информации и материальной основы наследственности и изменчивости организмов), а также с открытием реакций клеточного метаболизма, энергетики и информационных связей биосистем, представление о сущности жизни расширилось. Одно из современных определений такое: *жизнь* – это активное, происходящее с затратой энергии, веществ и получением информации поддержание и самовоспроизведение саморегулирующихся систем, химическую основу которых составляют белки и нуклеиновые кислоты.

ПРОЦЕССЫ В БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ





Уровни организации жизни (биосистем): молекулярно-генетический, органоидно-клеточный, организменный, популяционно-видовой, биогеоэкологический, биосферный; процессы в биосистемах: обмен веществ и превращение энергии, самовоспроизведение, саморегуляция, саморазвитие; жизнь.



1. Перечислите основные уровни организации биосистем. Докажите, что переход с более низкого уровня организации на более высокий сопровождается приобретением биосистемами новых свойств. 2. Какие процессы происходят в биосистемах? Дайте краткую характеристику каждого из них. 3. Приведите современное научное определение жизни. Какие существенные признаки живого отражены в этом определении? 4. На основании характерных черт организации биосистем и происходящих в них процессов, предложите свое определение жизни.

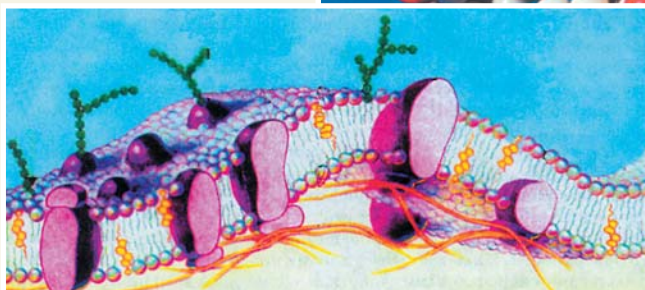
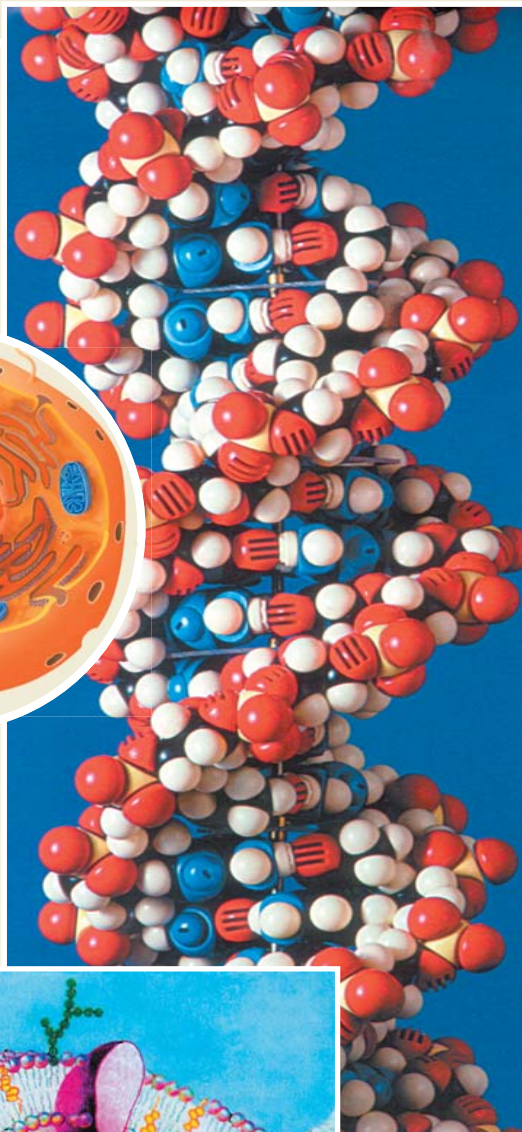
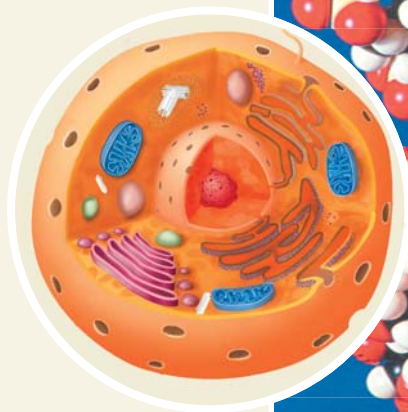


Используя окружение вашей школы, выясните, какие биологические системы можно наблюдать невооруженным глазом. Какие процессы в них происходят и на основании каких количественных и качественных данных можно сделать об этом предположение? Отчет о своих наблюдениях оформите в виде проектной работы.



Биологические системы ученые исследуют, используя научный метод. Он связан со строгой последовательностью действий, первое из которых – наблюдение. Наблюдатель фиксирует количественные и качественные данные, например, измеряет объект и описывает его форму. Затем, на основании полученных данных формулируется проблема – четкий вопрос относительно того, что надо изучить из ранее не известного об объекте или процессе. Для поиска путей решения проблемы выдвигается гипотеза, т.е. научное предположение, которое может объяснить наблюдаемые данные. Для проверки выдвинутой гипотезы на следующем этапе научного исследования разрабатывается и проводится эксперимент. Анализ результатов эксперимента (объяснение) позволяет решить, верна ли выдвинутая ранее гипотеза; в зависимости от этого, она принимается, изменяется или отвергается. В случае принятия, гипотеза становится рабочей, и если ее в дальнейшем не удается опровергнуть, то она становится теорией. В теории находят обобщение эмпирические данные об объекте или процессе. Если новые факты не противоречат сформулированной ранее теории и на ее основе можно их предсказывать, то теория становится правилом или законом. Правило имеет исключения, а закон всегда универсален, например, закон биогенной миграции элементов справедлив для всех круговоротов веществ в биосфере Земли.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И СТРОЕНИЕ КЛЕТКИ



§ 3.

ЦИТОЛОГИЯ КАК НАУКА

Вспомните, кто впервые открыл клетку. Кем были сформулированы основные положения клеточной теории?

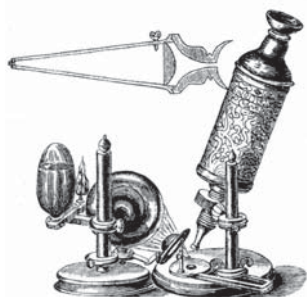


Рис. 10. Микроскоп Роберта Гука

Большинство организмов на нашей планете имеют клеточное строение. Клетка служит основной единицей живого, способной к обмену веществ, превращению энергии и самовоспроизведению. *Клетка* – элементарная биосистема. Она может существовать как самостоятельный одноклеточный организм, или участвовать в образовании тел колониальных и многоклеточных организмов.

Зарождение и развитие цитологии. Первые сведения о клеточном строении организмов относятся ко второй половине XVII в.

В 1665 г. английский ученый Роберт Гук (1635–1703) использовал усовершенствованный им микроскоп (рис. 10) для изучения биологических объектов и тем самым ввел в науку новый метод исследования природы. Увиденные на срезе мертвой ткани пробки ячейки (рис. 11) были им названы клетками (*cellula*). Ошибочно приняв за клетки поры пробки, заполненные воздухом, а за живое вещество – клеточные стенки, Гук тем не менее внес значительный вклад в изучение клеточного строения организмов. Кроме пробки он рассмотрел в микроскоп и другие растительные ткани, например, сердцевину стебля бузины. Результаты исследований были изложены Р. Гуком в книге «Микрография» (1667), ставшей первой научной работой, посвященной клеточному строению организмов.

Дальнейшее изучение строения клеток связано с именем голландского исследователя Антони ван Левенгука (1632–1723). Он занимался шлифованием оптических стекол, изготовлением линз и достиг в этом деле совершенства. Его не удовлетворяли существовавшие микроскопы, и он решил изобрести свой. Соорудив подвижное острие для объектов, он придумал освещать их при помощи вогнутого зеркала. Микроскопы Левенгука оказались более совершенными, чем мик-

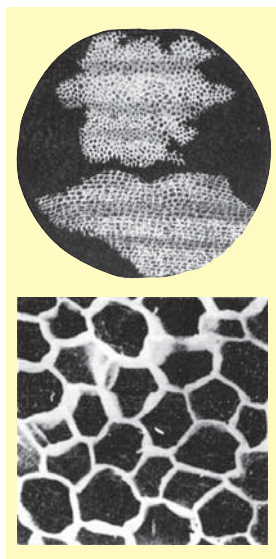


Рис. 11. Рисунок среза пробки (вверху) и сердцевины бузины (внизу)

роскоп Р. Гука. За счет соединения нескольких двояковыпуклых линз они давали увеличение в 270 раз. Это позволило ученому обнаружить бактерий и инфузорий, детально изучить строение сперматозоидов и эритроцитов человека. Особенно важными для науки стали исследования Левенгука простейших. Всех их он объединил под общим названием «анималькули», т.е. зверушки, или мелкие животные, так как не сомневался в их животной природе. Ученый описал не только строение простейших, но и изучил их передвижение и размножение.

По мере совершенствования инструментальной базы и техники микроскопических исследований к XIX в. клеточное строение организмов было хорошо изучено. В 1831 г. английский ученый Р. Броун открыл в клетке ядро. В 1838 г. немецкий ботаник М. Шлейден (рис. 12) поставил вопрос о значении клетки для развития организма, указывая на то, что в основе изучения жизнедеятельности растений лежит исследование жизненных процессов отдельной клетки. В 1839 г. немецкий зоолог Т. Шванн (рис. 12) в книге «Микроскопические исследования о соответствии в структуре и росте животных и растений» обобщил известные к тому времени данные о клеточном строении организмов и сформулировал клеточную теорию. Главными ее положениями стали доказательства клеточного строения всех организмов и зависимости роста и развития животных и растений от клеточного деления. И, хотя представление Шванна и Шлейдена об образовании новых клеток из неклеточного вещества было ошибочным, общий вывод о единстве клеточного строения организмов был верен. Дальнейшее развитие клеточной теории шло в направлении уточнения знаний о клеточном содержимом и выяснения значения клеточного деления. В 1855 г. немецкий врач Р. Вирхов (рис. 12) на основании данных об упорядоченном делении исходных клеток сделал обобщение, согласно которому клетка может возникнуть только из прешествующей клетки.

Таким образом, в середине XIX в. оформилась *цитология* (от греч. *kytos* – сосуд, здесь – клетка) – наука, изучающая строение и жизнедеятельность как отдельных клеток, так и их комплексов в составе тел многоклеточных организмов.

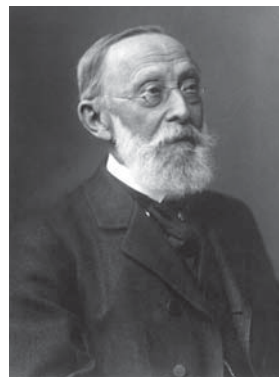
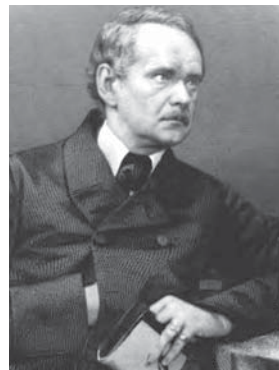


Рис. 12. Основоположники клеточной теории (сверху вниз): Маттиас Шлейден (1804–1881), Теодор Шванн (1810–1882) и Рудольф Вирхов (1821–1902)

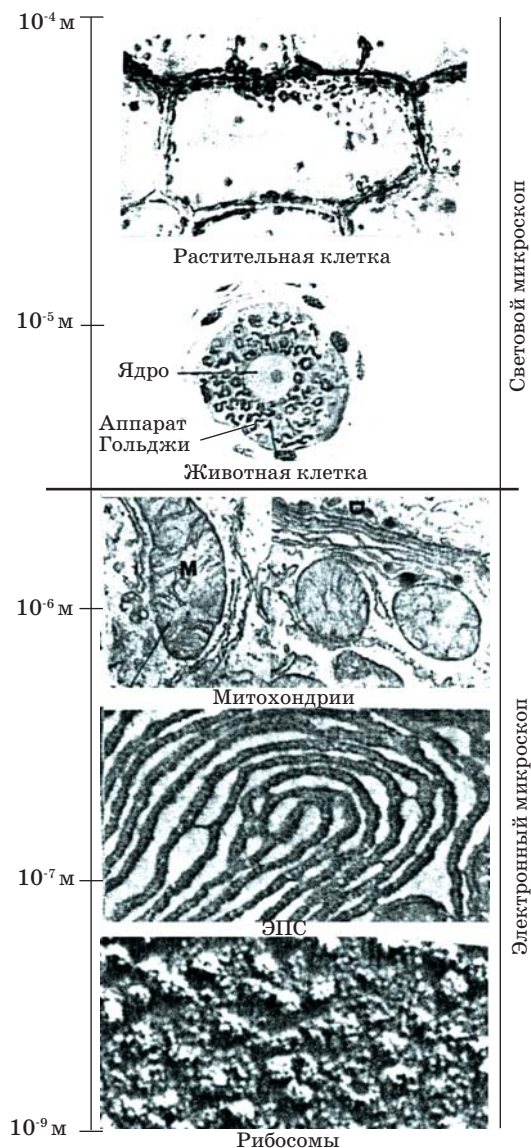


Рис. 13. Величина клеток и клеточных органоидов, которые можно увидеть в световом и электронном микроскопах: 1 мкм (микрометр) = 10^{-6} м, 1 нм (нанометр) = 10^{-9} м

В настоящее время цитология превратилась в *клеточную биологию*. Ее содержанием стало изучение общебиологических вопросов на микроскопическом, субмикроскопическом, макромолекулярном и молекулярном уровнях живого. В центре внимания оказались не только клеточные структуры, но и те вещества, из которых они построены. Задачей современной цитологии является выяснение механизмов жизнедеятельности и саморегуляции клетки как автономной биосистемы. Достижения в этой области позволили обобщить и сформулировать положения современной клеточной теории.

Основные положения клеточной теории.

1. Клетка – структурно-функциональная единица живого, представляющая собой элементарную биосистему. Для нее характерны все признаки живого: обмен веществ и превращение энергии, раздражимость, саморегуляция, самовоспроизведение, рост и развитие.
2. Клетки всех организмов имеют сходный химический состав и общий план строения.
3. Новая клетка возникает в результате деления материнской клетки.
4. Многоклеточный организм развивается из одной исходной клетки.
5. Сходство клеточного строения организмов свидетельствует о единстве их происхождения.

Методы цитологии.

Микроскопические методы, или *микроскопия*, позволяют изучить строение клетки. Это наиболее старые методы исследования. Однако в световой микроскоп можно увидеть лишь небольшое число органоидов (рис. 13). Современ-



Рис. 14. Строение клеток и клеточных структур, увиденных с помощью микроскопов: 1 – светового; 2 – электронного; 3 – сканирующего

ные электронный и сканирующий микроскопы позволяют рассмотреть фиксированные клетки и изучить их ультраструктуру (рис. 14). Для изучения живых клеток в настоящее время применяют фазово-контрастные и интерференционные микроскопы.

Метод центрифугирования используют для разделения клеточных органоидов и макромолекул. Клетку разрушают и измельчают специальными способами. Ее содержимое, состоящее из отдельных фрагментов, подвергают центрифугированию с разной скоростью вращения. В зависимости от молекулярной массы вещества или величины органоидов получают разные фракции. Этот метод позволяет выделить отдельные органоиды и изучить их свойства и структуру, очистить макромолекулы и исследовать их строение (рис. 15).

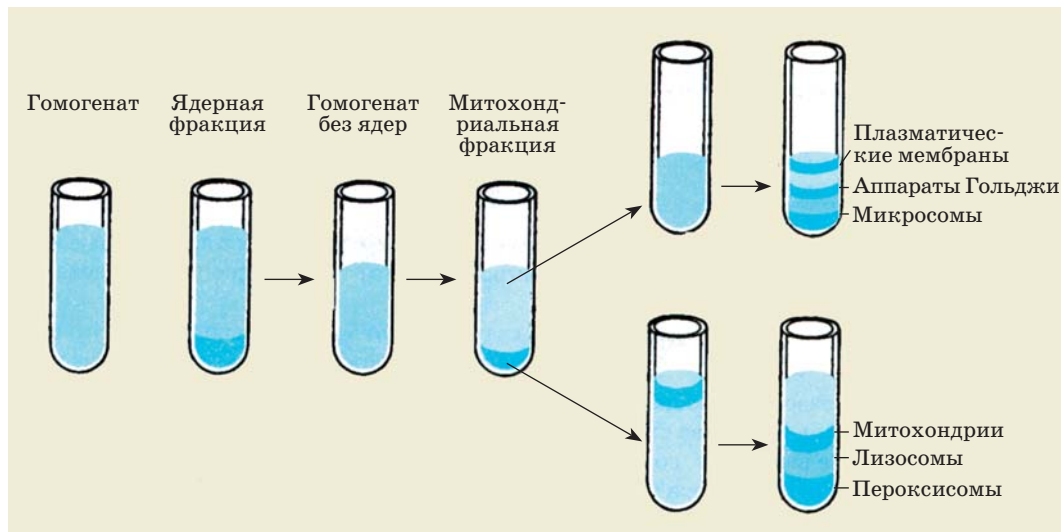


Рис. 15. Фракционирование клеточных структур методом центрифугирования

Биофизические методы дают возможность изучать строение и функции клеток с использованием меченых атомов, изотопного анализа, регистрации биоэлектрических потенциалов и др. В результате применения этих методов исследуется работа клеточных мембран, транспорт веществ, появление и проведение возбуждения и др.

Методы культуры клеток и тканей применяют для изучения следующих процессов: формирования клеточных органоидов, влияния различных веществ на клетки, наблюдения за размножением клеток вне организма, выделения факторов их роста. Для изучения клеток различных тканей их разделяют и выращивают в специальных сосудах. Пересадка ядер, хлоропластов и других органоидов клеток дает возможность с помощью методов культуры клеток и тканей получать клеточные гибриды. Эти методы также лежат в основе клонирования организмов из одной или нескольких клеток.



Клетка, цитология, или клеточная биология; методы изучения клеток: микроскопические (микроскопия), центрифугирование, биофизические, культура клеток и тканей.



1. Назовите имена ученых, положивших начало изучению клетки. Какие открытия были ими сделаны? Можно ли считать 1665-й год датой зарождения цитологии как науки и почему? 2. Назовите авторов клеточной теории. На чем были основаны их утверждения? Сформулируйте основные положения современной клеточной теории. Сравните их с первыми положениями, сформулированными в XIX в. 3. Охарактеризуйте основные методы изучения клетки. Результаты сравнения оформите в виде таблицы (в тетради).

Методы изучения клетки

Название метода	На чем основан метод исследования?	Что дает метод исследования?

4. Какие преимущества для исследования клеток дает использование интерференционного и фазово-контрастного микроскопов?

§ 4.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КЛЕТКИ. ВОДА И МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА

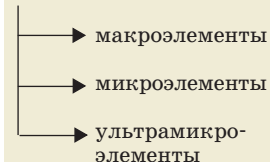
Вспомните, какие химические элементы относят к биогенам. Каково соотношение этих элементов в биосистемах? В чем значение основных элементов-биогенов? Какие функции выполняют в клетке вода и минеральные соли?

Клетки весьма разнообразны, однако все они имеют сходный химический состав. Химические элементы, постоянно встречающиеся в клетках, называются *биогенами*. Они образуют молекулы неорганических и органических веществ клетки. К неорганическим относят воду и минеральные вещества. Основную массу органических веществ составляют липиды, углеводы, белки и нуклеиновые кислоты.

Химический состав клетки. Все элементы-биогены в зависимости от их содержания в клетках можно разделить на три группы: макроэлементы, микроэлементы и ультрамикроэлементы. *Макроэлементы* составляют основу всех органических веществ клетки, а также входят в состав воды. Содержание *микро- и ультрамикроэлементов* значительно меньше, но жизнедеятельность клетки невозможна без них. Содержание и функции некоторых, наиболее значимых химических элементов представлены в таблице 1.

Минеральные вещества. Эти вещества присутствуют в клетках в виде ионов и твердых нерастворимых соединений. Содержание их в среднем составляет 1–1,5% от массы клетки. Функции минеральных веществ очень разнообразны: они создают кислую или щелочную реакции среды, входят в состав белков, активизируют деятельность многих ферментов, являются компонентами гормонов, участвуют в свертывании крови и окислительно-восстановительных процессах в клетке, обеспечивают прочность костей и проведение нервных импульсов и др. При нехватке минеральных веществ могут нарушаться процессы жизнедеятельности клетки и всего организма (табл. 1).

ЭЛЕМЕНТЫ- БИОГЕНЫ



Содержание некоторых химических элементов в клетке (в % на сухую массу)

Группы элементов	Содержание	Роль в клетке
Макроэлементы	(70–0,1)	
Кислород (O)	70–62	Основные элементы-биогены, входят в состав всех органических веществ клетки: белков, углеводов, липидов, нуклеиновых кислот. Обеспечивают образование всех клеточных структур.
Углерод (C)	20–18	
Водород (H)	10–9	
Азот (N)	3,0–0,3	Входит в состав нуклеиновых кислот, АТФ, ферментов, костной ткани и эмали зубов.
Фосфор (P)	0,98–0,07	
Сера (S)	0,16–0,05	Является компонентом белков, ферментов.
Кальций (Ca)	2,5–0,3	Придает прочность оболочке растений, костям и зубам животных, участвует в свертывании крови
Калий (K)	0,3–0,2	Обеспечивают проведение нервных импульсов, активизируют деятельность ферментов, процесс фотосинтеза, рост растений, поддерживают осмотическое давление в клетке, стимулируют синтез гормонов.
Натрий (Na)	0,1–0,03	
Микроэлементы	(0,1 – 0,001)	
Магний (Mg)	0,07–0,03	Компонент молекулы хлорофилла, содержится в костях и зубах, активизирует синтез ДНК, энергетический обмен в клетке.
Железо (Fe)	0,02–0,01	Входит в состав гемоглобина крови, миоглобина, хрусталика и роговицы глаза, обеспечивает транспорт кислорода, активизирует ферменты, участвует в синтезе хлорофилла. При недостатке развивается железодефицитная анемия
Хлор (Cl)	0,08–0,01	Компонент желудочного сока (соляной кислоты), активизирует деятельность ферментов желудка.
Кремний (Si)	0,1–0,0001	Входит в состав клеточных стенок растений и раковин простейших
Марганец (Mn)	0,001–0,0001	Активизирует работу ферментов
Ультрамикроэлементы	(0,001– 0,000001)	
Цинк (Zn)	0,0002	Активаторы ферментов и гормонов. Влияют на процессы кроветворения, фотосинтеза, обмена веществ. При их недостатке в организме могут нарушаться процессы жизнедеятельности
Медь (Cu)	0,0001	
Бром (Br)	0,0001	
Фтор (F)	0,00001	Входит в состав эмали зубов, при недостатке развивается кариес, при избытке – флюороз – размягчение костной ткани.
Йод (I)	0,000001	Входит в состав гормона щитовидной железы – тироксина, влияет на обмен веществ. При недостатке или избытке развивается ряд заболеваний: базедова болезнь, микседема.
Селен (Se), серебро (Ag), золото (Au), ртуть (Hg), бериллий (Be)	(менее 0,000001 и следовые количества)	Воздействуют на нервные клетки, активизируют обменные процессы в организме.

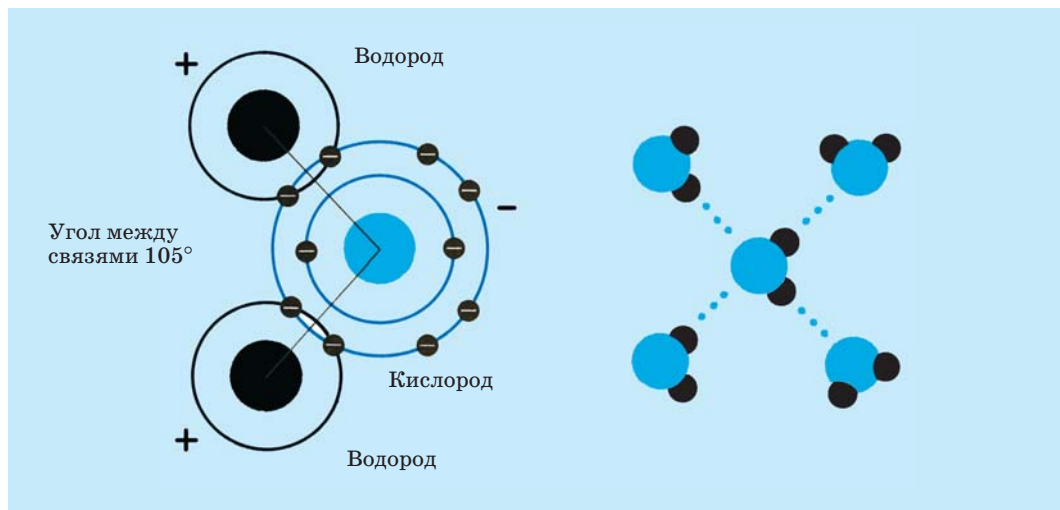


Рис. 16. Строение молекулы воды. Водородные связи между пятью молекулами воды – ассоциатами

Вода. Из неорганических веществ в клетке наибольшее значение имеет *вода*. Жизнь на нашей планете возникла в воде, что и обусловило ее исключительную роль. Содержание воды в клетках в среднем составляет 70–80% от их массы. Значимость воды связана с ее уникальными свойствами: полярностью молекулы, способностью образовывать водородные связи, большим поверхностным натяжением, аномально высокими температурами плавления и кипения.

Все эти свойства воды определяются строением ее молекулы (рис. 16). Она имеет вид диполя и способна образовывать водородные связи, благодаря чему молекулы воды объединяются в ассоциаты. Этим объясняется тот факт, что при обычных условиях вода, имея незначительную молекулярную массу – жидкость, а не газ, как водородные соединения других неметаллов – азота, углерода, серы, хлора, фосфора. Большинство веществ при замерзании сжимаются и их плотность увеличивается. Вода же имеет наибольшую плотность при температуре $+4^{\circ}\text{C}$. При охлаждении до 0°C расстояние между молекулами воды слегка увеличивается за счет водородных связей, а плотность понижается. В результате лед оказывается легче воды и плавает на

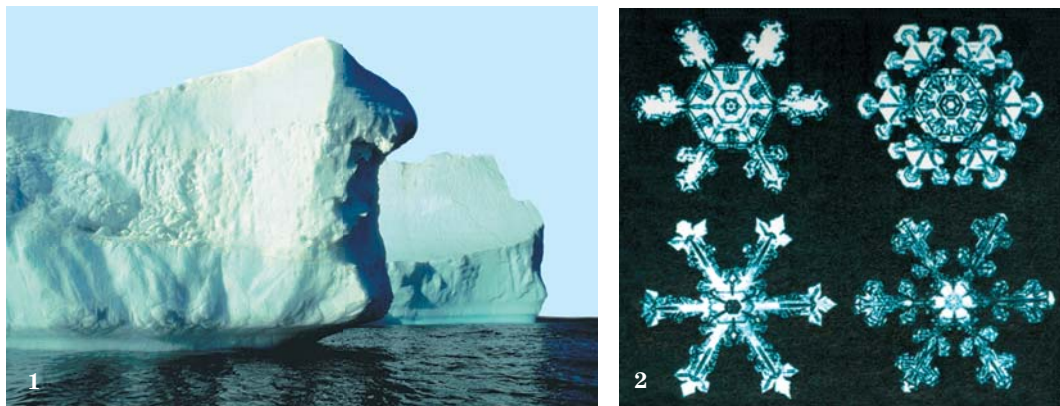


Рис. 17. Твердое состояние воды: 1 – лед легче жидкой воды; 2 – кристаллы льда

ее поверхности (рис. 17). Следовательно, одно и то же количество воды занимает в твердом состоянии больший объем, чем в жидком. Именно поэтому, кристаллизуясь в замкнутых сосудах или живых клетках, вода может разорвать их стенки, разрушить тонкие клеточные структуры. С другой стороны, образование льда на поверхности водоемов предотвращает замерзание его обитателей.

Наличием водородных связей объясняются и другие свойства воды: высокое поверхностное натяжение, высокая теплопроводность. Благодаря водородным связям молекулы воды способны слипаться друг с другом, чем объясняется ее высокое поверхностное натяжение. В результате на поверхности образуется «пленка». Вода, налитая в стакан «с верхом», не прольется. Она способна слипаться и с другими веществами. Поднимаясь по волокнам бумаги, вода тянет за собой другие молекулы и заполняет все пространство, чем и объясняются капиллярные ее свойства.

Участие в терморегуляции организмов – важнейшая биологическая функция воды. Благодаря высокой теплопроводности тепло быстро и равномерно распределяется по всему объему живых клеток, не давая перегреваться в отдельных точках организма. При испарении воды, т.е. переходе ее из жидкого в газообразное состояние, происходит охлаждение поверхности, с которой она испаряется.

Вода служит также универсальным полярным растворителем в клетке. По растворимости в воде вещества делят на *гидрофильные* – растворимые в воде, и *гидрофобные* – нерастворимые в воде.

В клетке различают воду свободную (90%) и связанную (около 10%). *Свободная* вода составляет внутреннюю среду клетки, где протекают все химические реакции. Она является участником и катализатором этих процессов. Свободная вода определяет тургор клетки и тканей – напряженное состояние плазматической мембраны, создаваемое давлением внутриклеточной жидкости, которая состоит из воды и растворенных в ней веществ. *Связанная* вода входит в состав макромолекул и клеточных органоидов. Она никогда не теряется живой клеткой.



Биогены, макроэлементы, микроэлементы, ультрамикроэлементы; вода: свободная и связанная; вещества: гидрофильные и гидрофобные.



1. Какие элементы составляют основу химических веществ клетки?
2. Почему наиболее распространенные в земной коре элементы, кроме кислорода, в составе тел организмов представлены незначительно?
3. Какие биологические функции выполняют химические элементы в клетке и организме?
4. С чем связано многообразие функций воды в клетке?
5. Какие свойства воды обеспечили ее значительное распространение на Земле и в биосистемах?
6. Благодаря каким свойствам происходит подъем воды в капиллярах?
7. Начните заполнять (в тетради) таблицу «Химический состав клетки». Внесите в нее сведения о воде и минеральных веществах.

Химический состав клетки

Вещества	Содержание в клетке, %	Биологические функции



Отдельные группы клеток специализировались на синтезе некоторых неорганических веществ. Так, клетки слизистой оболочки желудка образуют соляную кислоту, клетки слюнных желез синтезируют вещества с щелочными свойствами, а в клетках многих животных вырабатывается аммиак и другие азотистые соединения.

§ 5. БЕЛКИ

Вспомните, что такое белки и что является мономерами их молекул. Почему белки считают одними из важных веществ клетки?

Одними из наиболее важных органических веществ клетки являются *белки*. Белки составляют основу всего живого. Их содержание в клетке колеблется в пределах 10–20% от ее массы. Значимость белков была определена задолго до открытия их строения. Так, до 80-х гг. XIX в. было распространено убеждение, что в составе клеток, кроме белков, ничего существенного не содержится. Первостепенное значение белков для жизни остается непоколебимым и в настоящее время, несмотря на открытие роли нуклеиновых кислот в передаче наследственной информации. Второе их название – *протеины* (от греч. *protos* – первый, важнейший). Белки представляют собой высокомолекулярные соединения – *полимеры*, состоящие из структурных звеньев – *мономеров*. Количество мономеров в молекулах белков может колебаться от 3–5 до нескольких тысяч. Поэтому у некоторых белков молекулярная масса превосходит 1000000 единиц.

Состав и строение белков. Белки – это полимеры, мономерами которых служат *аминокислоты* (рис. 18). В составе белков растительного и животного происхождения встречаются 20 видов аминокислот, различающихся строением радикалов и свойствами.

Аминокислоты имеют две функциональные группы: аминогруппу и карбоксильную группу. За счет этих групп они соединяются друг с другом *пептидной связью* и образуют длинные цепи (рис. 19). Отсюда второе название белков – *полипептиды*.

Некоторые аминокислоты не могут синтезироваться в организме животных и человека. Однако они необходимы для построения белков, поэтому должны поступать с пищей в готовом виде. Такие аминокислоты называют незаменимыми.

Белки обладают сложным строением и их молекулы имеют несколько уровней организации (рис. 20). Основным уровнем организации белковой молекулы

УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЛКОВОЙ МОЛЕКУЛЫ (СТРУКТУРЫ)

- первичная
- вторичная
- третичная
- четвертичная

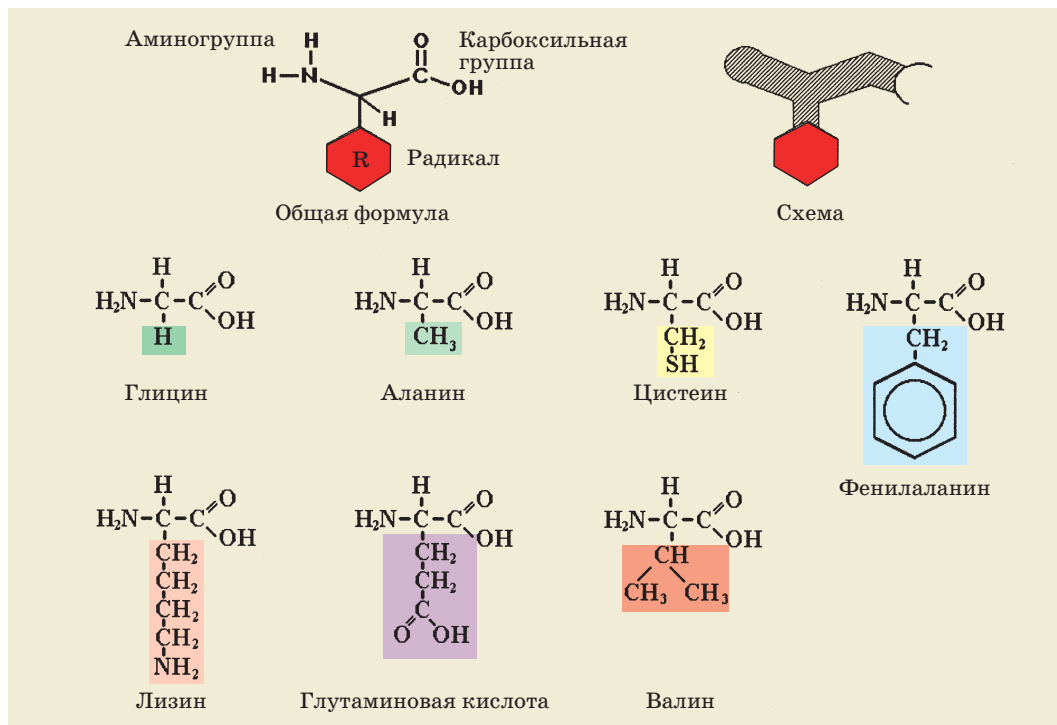


Рис. 18. Общая формула аминокислот. Формулы некоторых аминокислот

служит первичная структура. Аминокислоты могут в разном количестве и последовательности соединяться в полипептидные цепи. Поэтому каждый белок имеет строго специфичную первичную структуру, которая определяется наследственной программой клетки и организма. От этой структуры зависят все остальные структуры, свойства и функции белка (табл. 2). Кроме аминокислот в состав белков могут входить небелковые компоненты: металлы, углеводы, другие органические соединения.

Свойства и функции белков. Благодаря особенностям своего строения белки обнаруживают разнообразие физических и химических свойств. Молекулярная масса белков зависит от числа аминокислотных звеньев, входящих в состав молекулы. Они могут либо хорошо растворяться в воде, либо быть совершенно нерастворимыми, или плохо растворяться.

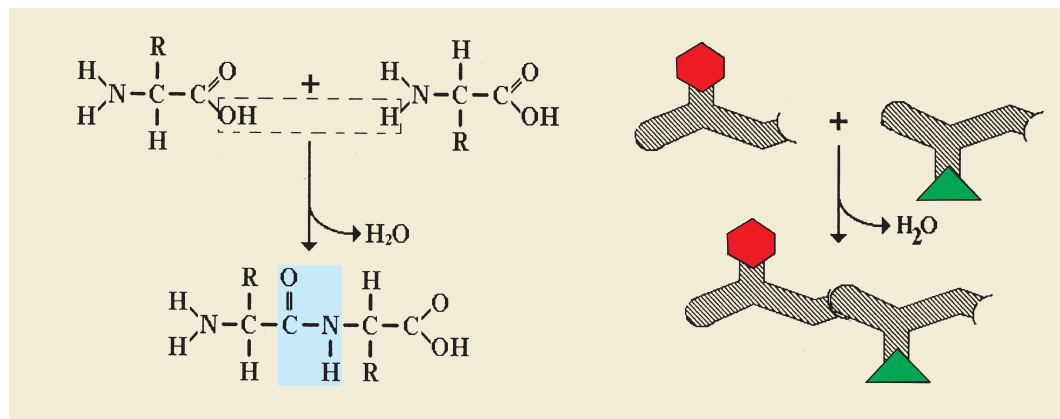


Рис. 19. Схема образования пептидной связи (выделена цветом)

Таблица 2

Уровни организации белковой молекулы

Структуры белка	Связи, поддерживающие структуру	Характеристика
Первичная	Пептидные связи между карбоксильной группой и аминогруппой двух соседних аминокислот	Определяется числом и последовательностью расположения аминокислотных остатков в полипептидной цепи; специфична для каждого белка
Вторичная	Водородные связи между карбоксильной группой и аминогруппой в витках спирали (между 1 и 3 аминокислотой)	Компоновка полипептидной цепи в виде правозакрученной α -спирали, степень спирализации зависит от первичной структуры; возможна β -структура – складчатая структура
Третичная	Различные типы связей и взаимодействия: ионные, водородные и ковалентные (дисульфидные S-S) связи и гидрофобные взаимодействия между радикалами аминокислот	Общее расположение в пространстве полипептидной цепи. Структура придает молекуле белка определенную пространственную конфигурацию
Четвертичная	Различные типы взаимодействий между субъединицами. Гемоглобин эритроцитов крови состоит из 4 субъединиц, а белок инсулин не имеет четвертичной структуры	Суперструктура, образующаяся при взаимодействии нескольких полипептидных цепей (субъединиц), способных к самосборке; характерна не для всех белков

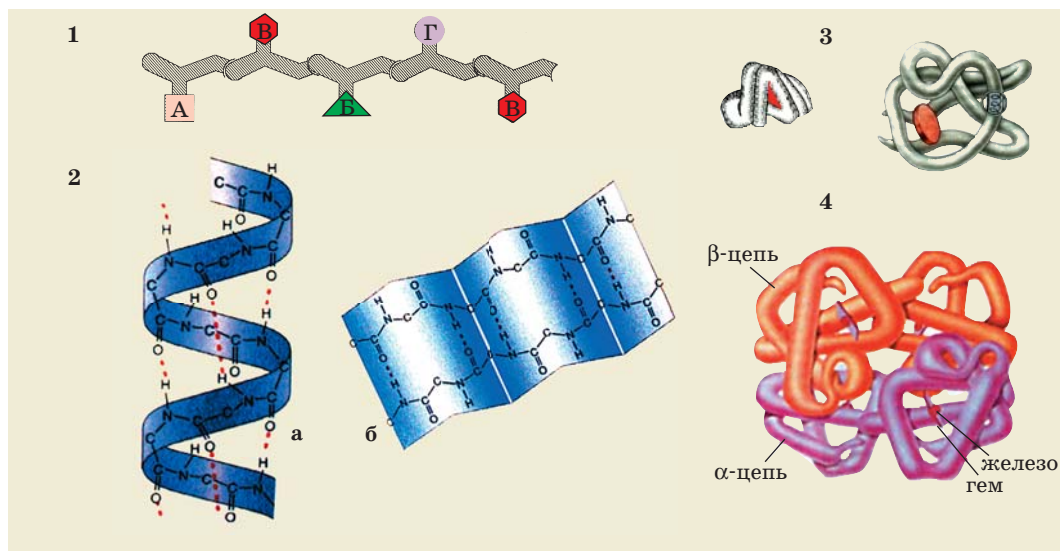


Рис. 20. Структуры белковой молекулы: 1 – первичная; 2 – вторичная (а – α -спираль, б – β -структура); 3 – третичная; 4 – четвертичная (молекула гемоглобина)

Под действием различных факторов окружающей среды структуры белка могут терять свои природные свойства. Потеря белком его природных свойств и структуры называют *денатурацией* (от лат. *de* – приставка, означающая удаление, утрату и *natura* – природные свойства). Денатурация, как правило, затрагивает третичную и частично вторичную структуры белка, но не сопровождается изменением первичной структуры. Обычно разрушаются связи между радикалами, дисульфидными мостиками. Степень денатурации зависит от интенсивности фактора воздействия и может быть обратимой или необратимой. Денатурация может происходить под действием химических веществ (кислот, щелочей, солей и других химических агентов), высоких температур (выше $40\text{--}50^\circ\text{C}$), радиоактивного излучения. Процесс денатурации обратим, если при снятии фактора денатурации белок восстанавливает свои структуры и свойства. Этот процесс называется обратимой денатурацией, а такой белок называют ренатурированным. В некоторых случаях белок не может восстановить свои свойства и денатурирует необратимо (при температуре выше 50°C , радиоактивном излучении и др.).

ФУНКЦИИ БЕЛКОВ

- ферментативная
- строительная
- защитная
- регуляторная
- транспортная
- энергетическая

Белки разнообразны и по выполняемым функциям. Самая важная из них – ферментативная. *Ферменты* (от лат. *fermentum* – брожение, закваска) – это биологические катализаторы, ускоряющие химические реакции, протекающие в клетке. Без участия ферментов в клетке не происходит ни одна реакция. Большинство ферментов состоит из белков, которые могут содержать дополнительные вещества небелковой природы, чаще всего витамины или микроэлементы. Белки выполняют также и *строительную* функцию – образуют мембранные структуры клеток, входят в состав рибосом и микротрубочек. *Защитная* функция белков связана с образованием антител. С их помощью организм защищается от чужеродных агентов в реакциях, связанных с иммунитетом. Например, белок крови человека интерферон обеспечивает защиту организма от вирусных и бактериальных инфекций. *Регуляторные* белки-гормоны регулируют обмен веществ в организме. Так, белок инсулин регулирует углеводный обмен. *Транспортные* белки связывают и переносят вещества внутри клетки и во всем организме. Так, гемоглобин эритроцитов переносит кислород, а сывороточный альбумин переносит липиды. Белки могут выполнять и *энергетическую* функцию. При окислении 1 г белка выделяется 17,6 кДж энергии. Однако в качестве энергетического вещества клетка использует белок в самую последнюю очередь.



Протеины; полимеры, мономеры; аминокислоты, полипептиды; пептидная связь, денатурация; функции белков: ферментативная, строительная, защитная, регуляторная, транспортная, энергетическая.



1. Объясните второе название белков – протеины. Почему белки еще называют полипептидами?
2. Имеются три вида аминокислот – А, В, С. Сколько вариантов пептидных цепей можно построить из этих аминокислот?
3. Объясните, почему от первичной структуры белка зависят его свойства и функции.
4. С чем связано ограничение шкалы термометра, с помощью которого измеряется температура тела человека, +41,5°C?
5. Какие функции выполняют белки? Приведите примеры.
6. Продолжите заполнять таблицу «Химический состав клетки». Внесите в нее сведения о белках.

§ 6.

ЛИПИДЫ. УГЛЕВОДЫ. ВИТАМИНЫ

Вспомните, какие органические вещества встречаются в клетке. Какие функции выполняют липиды и углеводы в клетке? Какие две группы органических веществ различают по их отношению к воде?

Наряду с белками в клетках присутствуют другие высокомолекулярные органические вещества – липиды, углеводы, витамины, гормоны, а также низкомолекулярные органические вещества – аминокислоты, молочная и уксусная кислоты и др.

Липиды. Липиды (от греч. *lipos* – жир) представляют собой сложные эфиры многоатомных спиртов и карбоновых кислот. В состав липидов могут входить высшие жирные карбоновые кислоты (ВЖК), глицерин, высокомолекулярные одноатомные и циклические спирты, а также нелипидные компоненты – фосфорная кислота, белки, углеводы. Содержание липидов в клетке в среднем составляет 1–5% от ее массы. Все липиды практически нерастворимы в воде, но хорошо растворимы в органических растворителях – бензине, ацетоне, эфире, хлороформе. Это связано с особенностью строения их молекулы, имеющей длинные неполярные органические радикалы (рис. 21).

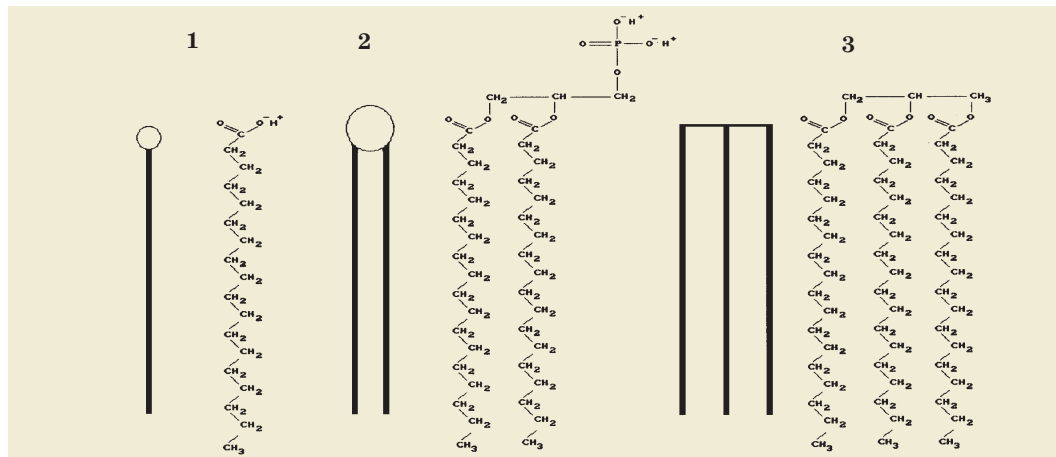


Рис. 21. Схема строения молекул липидов: 1 – стеариновой кислоты; 2 – фосфолипида; 3 – жира

Классификация и функции липидов

Название липида	Функции в клетке
Простые липиды <i>Триглицериды</i> жиры – твердые, животные масла – жидкие, растительные <i>Стериды</i> холестерол, кортикостерон, половые гормоны <i>Воски</i> пчелиный растительный	Энергетическая функция. Запасные питательные вещества клетки и организма растений и животных. Источник воды в организме. Защитная и терморегуляторная функция. Слой подкожного жира предохраняет организм животного от переохлаждения Гормоны и компоненты витамина D. Строительная, регуляторная, энергетическая функции Строительная и защитная функции. Пчелиные соты. Восковой налет на листьях и плодах у растений предохраняет от избыточного испарения воды
Сложные липиды Фосфолипиды	Строительная и энергетическая функции. Образуют клеточные мембраны

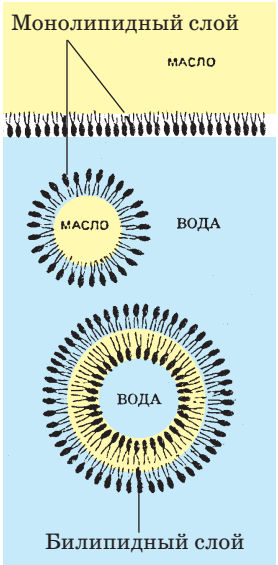


Рис. 22. Гидрофобные вещества в воде

В зависимости от химического состава липиды делят на *простые* и *сложные*. Простые липиды – жиры, масла, воски, стериды – состоят только из липидных компонентов. Сложные липиды имеют дополнительные нелипидные группы (табл. 3). Наиболее распространенными и важными компонентами клетки являются триглицериды и фосфолипиды.

Функции липидов разнообразны, но основная из них – *энергетическая*. При окислении 1 г жира до углекислого газа и воды образуется 38,9 кДж энергии, что почти в 2,5 раза больше, чем при окислении белков и углеводов.

Еще одна важная функция липидов – *строительная*. Все клеточные мембраны построены из фосфолипидов, которые образуют билипидный слой. Они обладают двойственными свойствами: остатки фосфорной кислоты гидрофильны, а радикалы – гидрофобны. Своими гидрофобными радикалами фосфолипиды направлены друг к другу, а гидрофильными группами наружу к воде (рис. 22).

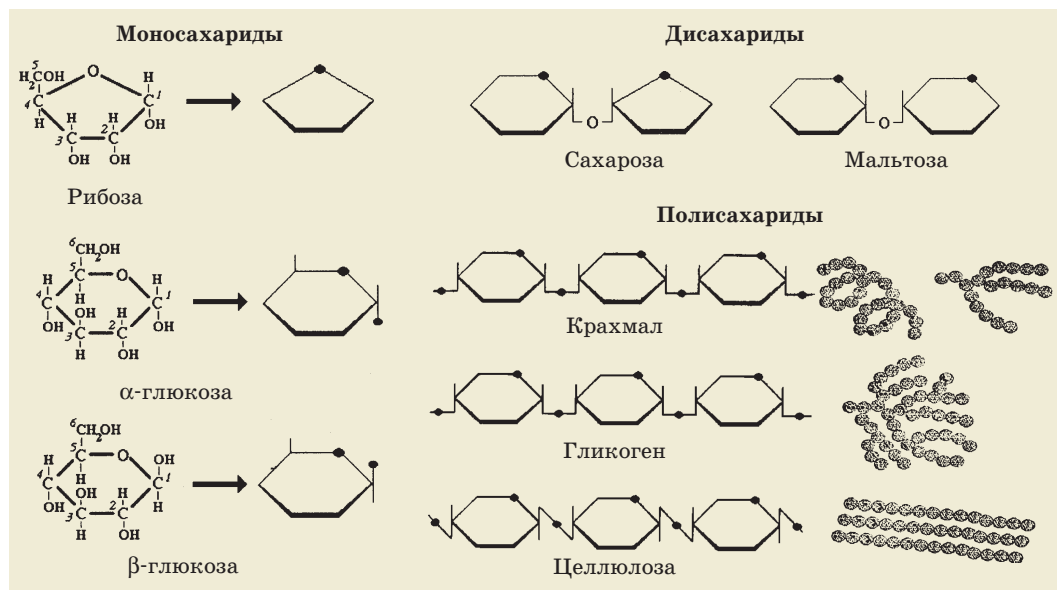


Рис. 23. Схема строения углеводов

Углеводы. К этому классу относят органические вещества с общей формулой $C_m(H_2O)_n$. Они разнообразны по составу и свойствам, широко распространены в природе. Содержание углеводов в клетках сильно варьируется, но в среднем составляет 0,1–2% от их массы.

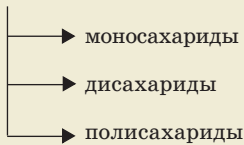
По составу и строению среди углеводов различают *моносахариды*, *дисахариды* и *полисахариды* (рис. 23). Моносахариды и дисахариды – белые кристаллические вещества, хорошо растворимы в воде, имеют сладкий вкус. Полисахариды, состоящие из повторяющихся звеньев моносахаридов (обычно глюкозы), плохо растворимы в воде, не имеют сладкого вкуса (табл. 4).

Во всех организмах углеводы в первую очередь выполняют *энергетическую* функцию. При окислении 1 г углеводов выделяется 17,6 кДж энергии. Хотя количество теплоты, которое выделяется при окислении углеводов, меньше, чем у жиров, они значительно быстрее и легче расщепляются и усваиваются организмом. Кроме того, углеводы выполняют *строительную* и *запасную* функции. В растительных клетках углеводы – основной строительный материал и запасное пита-

Классификация и состав углеводов

Моносахариды	Дисахариды	Полисахариды
$C_6H_{12}O_6$ – глюкоза, фруктоза $C_5H_{10}O_5$ – рибоза $C_5H_{10}O_4$ – дезоксирибоза	$C_{12}H_{22}O_{11}$ сахароза – свекловичный сахар (глюкоза и фруктоза) лактоза – молочный сахар мальтоза – солодовый сахар (две глюкозы)	$(C_6H_5O_{10})_n$ целлюлоза – растительный углевод (β -глюкоза) крахмал – растительный углевод (α -глюкоза) гликоген – животный углевод (α -глюкоза)

УГЛЕВОДЫ



тельное вещество. Целлюлоза входит в состав оболочки растительных клеток, составляя 50% массы всех углеводов, находящихся в растениях. Крахмал, сахароза и глюкоза накапливаются в семенах и плодах.

В животных клетках углеводов меньше, чем в растительных. Они играют важную роль в обмене веществ. Так, животный крахмал – гликоген – запасается в печени и мышцах и служит резервным энергетическим веществом. Похожий по строению на целлюлозу полисахарид – хитин – входит в состав хитинового покрова членистоногих и оболочки клеток грибов.



Рис. 24. Содержание различных витаминов в пищевых продуктах

Витамины. Это сборная группа органических веществ, разнообразная по составу и свойствам. Их объединяет одно – абсолютная необходимость для нормальной жизнедеятельности организмов.

Витамины были открыты в 1880 г. русским врачом Н.И. Луниным. Свое название они получили от латинского слова *vita* – жизнь, что говорит об их исключительной важности. В настоящее время открыты и изучены почти 30 витаминов, многие из которых могут быть синтезированы искусственным путем.

Витамины входят в состав ферментов, выполняют *каталитическую* и *регуляторную* функции. В организме животных и человека большинство витаминов не синтезируются, а поступают с пищей.

По растворимости в воде витамины делят на две группы: *водорастворимые* и *жирорастворимые*. Водорастворимые витамины при поступлении в организм растворяются в воде или желудочном соке, быстро всасываются

Таблица 5

Важнейшие витамины и заболевания, связанные с авитаминозом

Буквенное обозначение	Название	Суточная потребность (мг)	Заболевания, возникающие в связи с недостатком витамина
A	Жирорастворимые Ретинол (антиксерофтальмический)	2,5	Ослабление зрения («куриная», или сумеречная, слепота), поражение эпителиальных тканей, роговицы глаза, торможение роста и снижение массы тела, общее истощение
D	Кальциферол (антирахитический)	0,0025	Нарушение фосфорно-кальциевого обмена и развития костей, в детском возрасте – рахит, у взрослых – остеопороз
B ₁	Водорастворимые Тиамин (антиневритный)	2,0	Нарушение обмена белков, углеводов, липидов, дегенерация нервных окончаний, развитие полиневрита (болезнь «бери-бери»), потеря кожной чувствительности, сердечные боли
B ₂	Рибофлавин (витамин роста)	2,0	Остановка роста, выпадение волос, поражение слизистых оболочек, быстрая утомляемость зрения, понижение работоспособности
C	Аскорбиновая кислота (антискорбутный)	75	Нарушение синтеза коллагена, цинга, хрупкость кровеносных сосудов, изменения в костях и зубах, ускорение процесса старения

в кровь и усваиваются клетками. Жирорастворимым витаминам для усвоения обязательно необходимы жиры, в которых они могли бы раствориться. Заболевание, развивающееся при недостатке или отсутствии витаминов в организме, называют *авитаминозом*. Особенно велико влияние витаминов на детей и больных людей, так как растущему и ослабленному организму они наиболее нужны.

Витамины встречаются в достаточном количестве во фруктах, овощах, зерновках злаков, мясе, печени, рыбе и другой пище растительного и животного происхождения (рис. 24). Характеристика наиболее значимых витаминов дана в таблице 5. Сбалансированное питание восполняет ежедневную потребность организма человека в витаминах. Однако следует помнить, что большинство витаминов – неустойчивые соединения: они легко разрушаются при контакте с воздухом и при термической обработке.

Поэтому для сохранности витаминов в пище необходимо избегать ее чрезмерной термической обработки, взаимодействия с металлами и кислородом воздуха. Снижается также содержание витаминов в пище в результате ее длительного хранения.



Липиды: простые и сложные; функции липидов: энергетическая, строительная; углеводы: моносахариды, дисахариды и полисахариды; функции углеводов: энергетическая, строительная, запасаящая; витамины: водорастворимые и жирорастворимые; авитаминоз; функции витаминов: каталитическая и регуляторная.



1. Определите по рис. 22 строение фосфолипида, какая его часть обладает гидрофильными, а какая гидрофобными свойствами. 2. Сравните строение полисахаридов и установите черты их сходства и различия. 3. Объясните, почему энергоемкость жиров в два раза больше, чем углеводов. 4. В животных клетках в качестве запасного питательного вещества откладываются жиры, а в растительных клетках – крахмал. В чем причины различия? 5. Какие функции выполняют углеводы в растительных и животных клетках? 6. Что такое витамины? Можно ли их отнести к обязательным химическим веществам клетки и почему? 7. Проанализируйте данные из таблицы 5 и объясните, в чем заключается основное значение витаминов для жизнедеятельности организма человека. 8. Продолжите заполнять таблицу «Химический состав клетки». Внесите в нее сведения о липидах, углеводах и витаминах.

§ 7.

НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ. АТФ

Вспомните, какие органические вещества участвуют в реализации генетической информации в клетке. Какие виды нуклеиновых кислот вам известны? Что такое АТФ? Какие функции выполняет АТФ в клетке?

Нуклеиновые кислоты (от лат. *nucleus* – ядро) – самые крупные из молекул, которые встречаются в клетках. С ними связаны основные свойства живого – самовоспроизведение и передача наследственной информации. Различают два типа нуклеиновых кислот: *дезоксирибонуклеиновую кислоту* (ДНК) и *рибонуклеиновую кислоту* (РНК).

Состав нуклеиновых кислот. Нуклеиновые кислоты – это полимеры, мономерами которых являются нуклеотиды (рис. 25). *Нуклеотид* состоит из остатка фосфорной кислоты, углевода и азотистого основания.

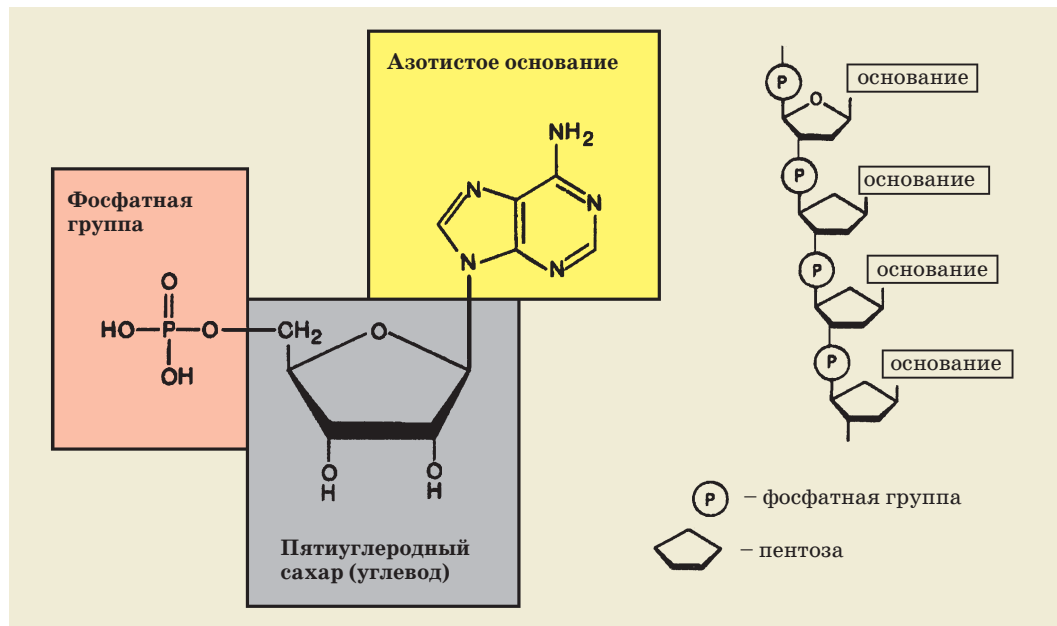


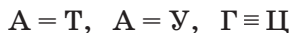
Рис. 25. Соединение нуклеотидов и образование полинуклеотида

Состав нуклеиновых кислот

Состав нуклеотида	ДНК	РНК
Фосфорная кислота	H_3PO_4	H_3PO_4
Углевод	дезоксирибоза	рибоза
Азотистые основания	аденин (А), тимин (Т), гуанин (Г), цитозин (Ц)	аденин (А), урацил (У), гуанин (Г), цитозин (Ц)

Молекулы ДНК и РНК отличаются по составу нуклеотидов (табл. 6).

В нуклеотиде углевод соединен с одной стороны с фосфорной кислотой, а с другой – азотистым основанием. Строение азотистых оснований таково, что они попарно способны образовывать водородные связи, причем аденин соединяется с тиминном или урацилом, а гуанин с цитозином (рис. 26). Парные азотистые основания называют *комплементарными*. Между аденином и тиминном (или урацилом) образуются две связи, а между цитозином и гуанином – три:



По содержанию азотистого основания определяют вид и дается название нуклеотида: адениловый (А),

НУКЛЕОТИДЫ

- адениловый (А)
- гуаниловый (Г)
- цитидиловый (Ц)
- тимидиловый (Т)
- уридиловый (У)

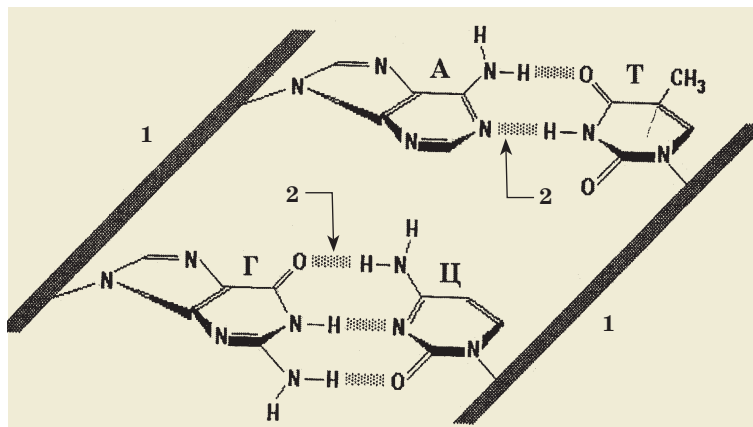


Рис. 26. Соединение комплементарных азотистых оснований: 1 — остовы цепей молекулы нуклеиновой кислоты; 2 — водородные связи между комплементарными азотистыми основаниями

гуаниловый (Г), цитидиловый (Ц), тимидиловый (Т), уридиловый (У). Нуклеотиды соединяются друг с другом через остатки фосфорной кислоты и углевода, образуя длинные *полинуклеотидные цепи*, или *полинуклеотиды*. Число нуклеотидов в цепи может достигать 30000 и более. Содержание нуклеиновых кислот составляет 1–2% от массы клетки. Первичная структура нуклеиновой кислоты определяется последовательностью чередования четырех типов нуклеотидов. От нее зависит наследственная информация организма.

Строение и функции ДНК. В составе молекулы ДНК имеется определенная закономерность в соотношении азотистых оснований. Сумма аденина и гуанина равна сумме тимина и цитозина, число аденина всегда соответствует числу тимина, а число гуанина – числу цитозина:

$$nA = nT, \quad mГ = mЦ, \quad nA + mГ = nT + mЦ$$

Эта особенность позволила двум английским ученым Джеймсу Уотсону и Френсису Крику в 1953 г. установить структуру молекулы ДНК, которая представляет собой *двойную спираль* (рис. 27, 28). Две цепи в молекуле ДНК как бы свиты вместе и закручены вправо вокруг центральной оси. Они удерживаются друг с другом благодаря водородным связям, которые возникают между комплементарными азотистыми основаниями.

Молекулы ДНК в клетках сосредоточены, главным образом, в ядре. Они образуют нити хроматина, а перед делением клетки, соединяясь с белками и спирализуясь, превращаются в хромосомы. Кроме того, специфические ДНК имеются в митохондриях и хлоропластах. В клетке молекулы ДНК выполняют исключительно важную функцию – *хранение и передачу наследственной информации*. В них закодирована информация о первичной структуре белков. Они являются основой (матрицей) для синтеза всех видов РНК, а также для новых молекул ДНК перед делением клетки. Число молекул ДНК и их нуклеотидная последовательность – генетический признак вида и организма.

Кроме клеточных ДНК имеются и вирусные ДНК, которые обеспечивают хранение и передачу наследственной информации вирусов.

Строение, виды и функции РНК. Молекулы РНК, в отличие от ДНК, состоят из одной полинуклеотидной

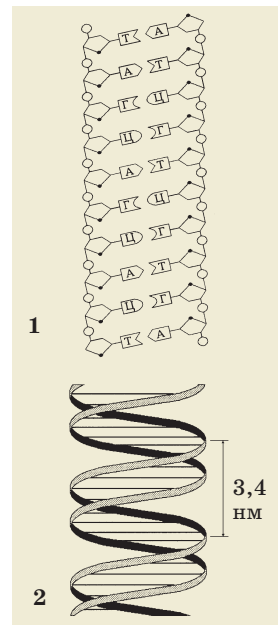


Рис. 27. Двойная спираль молекулы ДНК: 1 – фрагмент двойной цепи; 2 – вторичная структура

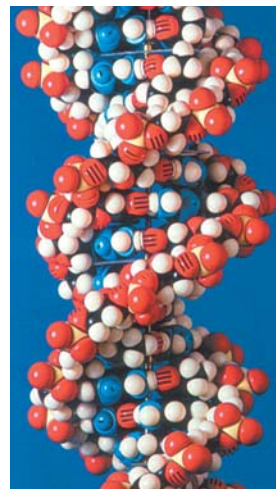


Рис. 28. Строение молекулы ДНК (модель)

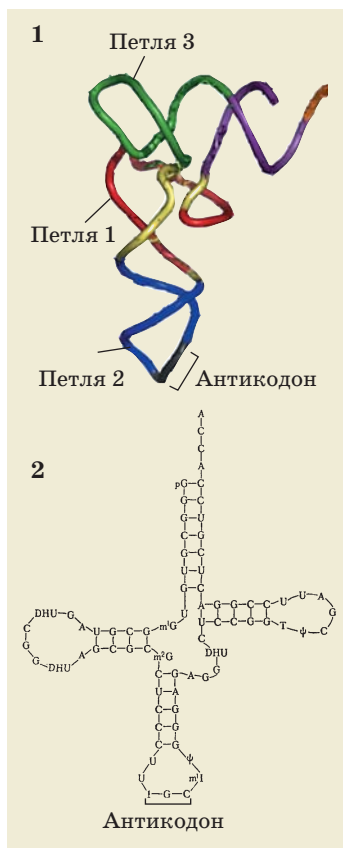


Рис. 29. Структура транспортной РНК: 1 — модель; 2 — схема

цепи, в которой имеются прямые и спиральные участки, петли. Соединение отдельных участков друг с другом происходит также с помощью водородных связей между комплементарными основаниями. В клетке встречаются три вида РНК, которые находятся в ядре, цитоплазме, хлоропластах, митохондриях, рибосомах. У них разная молекулярная масса, конфигурация молекул и выполняемые функции.

Информационная, или матричная, РНК (иРНК, или мРНК) переносит информацию о структуре белка от ДНК на рибосомы. Ее еще называют РНК-посредником. Из клеточных РНК она наиболее высокомолекулярна. Каждая молекула иРНК содержит полную информацию, необходимую для синтеза одной молекулы белка.

Транспортные РНК (тРНК) – самые короткие полинуклеотиды, состоящие всего из 70–80 нуклеотидов. Они растворимы в воде. Все транспортные РНК имеют сходную структуру, которую принято называть «клеверным листом» (рис. 29). Они присоединяют, кодируют и транспортируют аминокислоты к месту синтеза белка на рибосомы.

Рибосомальные РНК (рРНК) входят в состав рибосом. Они образуют более 80% всей массы РНК в клетке. Синтезируются рРНК на участках ДНК хромосом, расположенных в ядрышковом центре ядра.

Помимо клеточных РНК существуют **вирусные РНК** – самые высокомолекулярные из всех видов РНК. Они несут информацию о структуре вирусов, т.е. являются их генетическим аппаратом.

АТФ. В клетке находятся мононуклеотиды, имеющие тот же состав и строение, что и нуклеотиды, входящие в состав ДНК и РНК. Наиболее важный из них – **аденозинтрифосфат (АТФ)**. Молекула АТФ состоит из рибозы, аденина и трех остатков фосфорной кислоты, между которыми имеются две **макроэргические** (высокоэнергетические) связи (рис. 30). Энергия простой связи составляет около 13 кДж/моль, а макроэргической – 30,6 кДж/моль. Поэтому при расщеплении (гидролизе) молекулы АТФ выделяется энергии в два с половиной раза больше, чем при расщеплении многих других соединений:



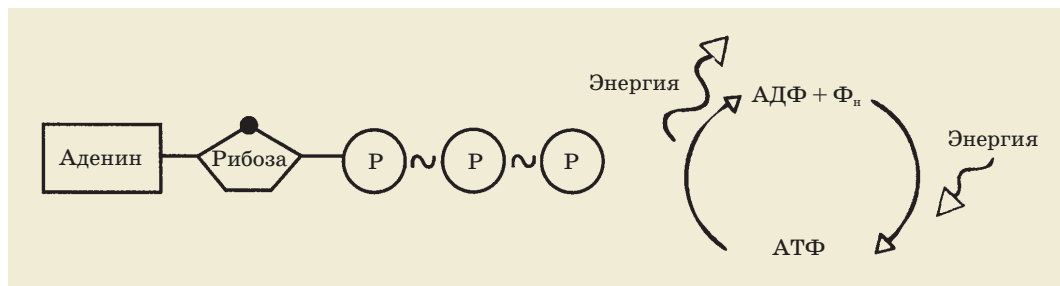


Рис. 30. Строение молекулы АТФ и ее роль в превращении энергии в клетке (макроэргические связи обозначены знаком ~).

Энергия в АТФ запасается в результате реакций распада и окисления органических веществ, а также при фотосинтезе. При этом одновременно происходит синтез молекул АТФ из АДФ или АМФ. Синтез АТФ происходит в митохондриях, хлоропластах, а также в цитоплазме. Клетка использует запасенную в молекулах энергию в различных процессах: биосинтезе собственных органических веществ, при движении, передаче нервных импульсов, в процессе деления и др. АТФ служит ключевым веществом обменных процессов в клетке и универсальным источником энергии, ее содержание в клетке составляет менее 1%.



Нуклеиновые кислоты: дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК), рибонуклеиновая кислота (РНК); нуклеотид, полинуклеотидная цепь (полинуклеотид); комплементарность; функция ДНК – хранение и передача наследственной информации; виды РНК: информационная, транспортная, рибосомальная, вирусная; аденозинтрифосфат (АТФ), макроэргическая связь.



1. Что такое нуклеотид? Из чего он состоит? 2. В чем особенность первичной структуры молекул нуклеиновых кислот? 3. Одна цепь молекулы ДНК имеет следующую последовательность нуклеотидов: А А Ц Г Т Ц А Т Г Т Ц. Составьте нуклеотидную последовательность второй цепи. 4. Какие функции выполняет ДНК в клетке? 5. Чем различаются молекулы РНК и ДНК? 6. Какие виды РНК вам известны? Какие функции они выполняют в клетке? 7. Почему молекулы АТФ называют главным энергетическим веществом клетки? 8. Закончите заполнять таблицу «Химический состав клетки». Внесите в нее сведения о нуклеиновых кислотах и АТФ.

§ 8.

СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИИ ОРГАНОИДОВ КЛЕТКИ

Вспомните, что представляет собой клетка и ее органойды. Какие два типа клеток встречаются в природе?

Клетка представляет собой обособленную от внешней среды биосистему, имеющую сложную внутреннюю организацию. По наличию оформленного ядра все клетки делят на две группы: прокариотные и эукариотные. *Прокариотные* (от лат. *pro* – перед, раньше, вместо и греч. *carion* – ядро), или безъядерные, клетки не имеют оформленного ядра и многих органойдов в цитоплазме. Такие клетки характерны для бактерий и цианобактерий (синезеленых водорослей). *Эукариотные* (от греч. *eu* – хорошо, полностью и *carion* – ядро), или ядерные, клетки, имеют четко оформленное ядро и различные органойды. К ним относят клетки растений, животных и грибов.

Строение плазматической мембраны. Любая клетка окружена снаружи *плазматической мембраной*. Она ограничивает клетку, регулирует поступление

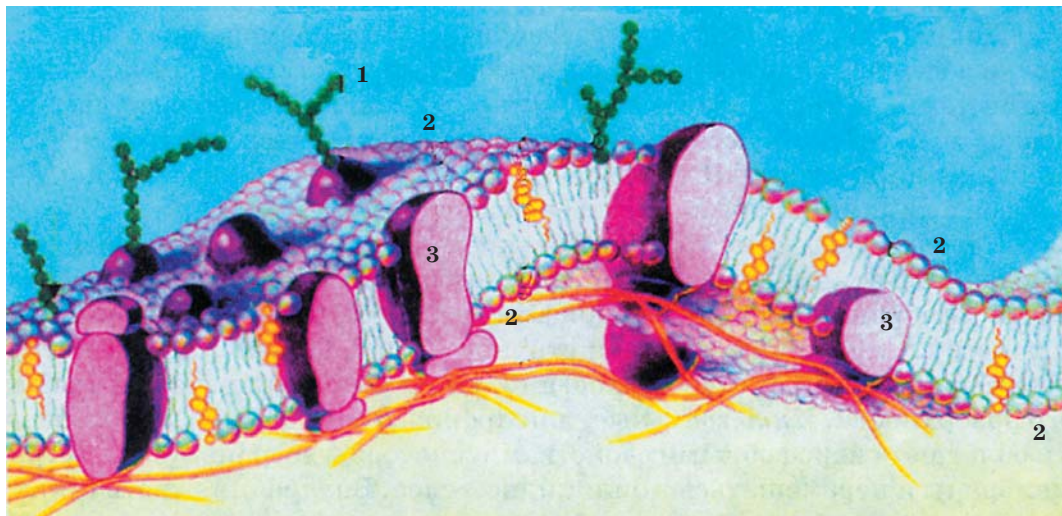


Рис. 31. Строение плазматической мембраны: 1 – гликокаликс; 2 – фосфолипиды; 3 – белки

веществ в клетку и из нее. Плазматическая мембрана состоит из белков, фосфолипидов и обладает жидкостно-мозаичной структурой (рис. 31).

Фосфолипиды образуют двойной (билипидный) слой, причем гидрофобные концы фосфолипидов обращены внутрь, а гидрофильные – наружу. В билипидный слой мозаично вкраплены молекулы белков, пронизывающие мембрану полностью или располагающиеся в одном из слоев. Часть белков имеют каналы, или поры, через них проходят различные вещества. Мембрана текуча и способна изменять свою форму. На наружной ее поверхности у эукариотных клеток животных располагаются углеводы, соединенные с белками и липидами. Они образуют *гликокаликс*, обеспечивающий контакт клеток друг с другом.

Важная особенность плазматической мембраны – избирательная проницаемость для определенных веществ.

Существуют несколько механизмов поступления веществ через плазматическую мембрану (рис. 32). Небольшие молекулы и жирорастворимые вещества поступают в клетку диффузно, из области с высокой концентрацией в область с низкой концентрацией. Диффузия молекул воды называется осмосом. Молеку-

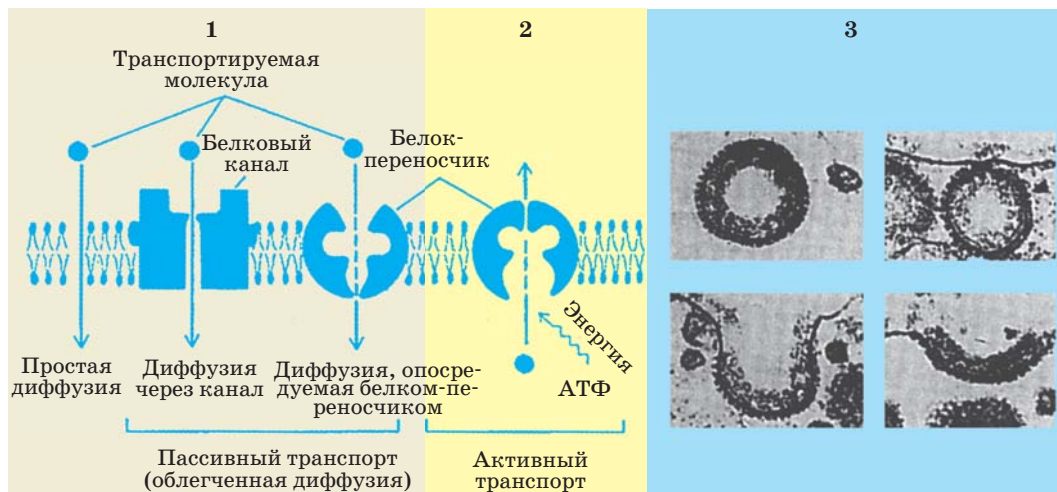


Рис. 32. Транспорт веществ через плазматическую мембрану: 1 – диффузия; 2 – активный транспорт; 3 – эндоцитоз

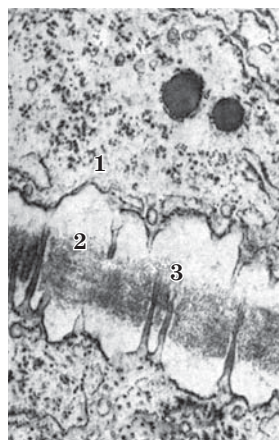
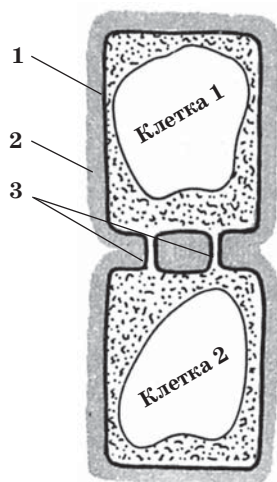


Рис. 33. Клеточная оболочка: 1 – плазматическая мембрана; 2 – клеточная стенка; 3 – нити цитоплазмы (плазмодесмы), проходящие через поры в клеточной стенке

лы глюкозы, глицерина, аминокислот, ионы и полярные молекулы проходят через поры мембранных белков. При этом никакой затраты энергии не происходит. Такой перенос называется *пассивным транспортом*.

Активный транспорт осуществляется специальными белками-переносчиками. Он идет из области, где концентрация вещества меньше в область, где она больше. При этом происходит затрата энергии АТФ. Например, в результате активного транспорта ионы калия постоянно закачиваются внутрь клетки, а ионы натрия выносятся наружу.

Кроме низкомолекулярных веществ в клетку поступают и высокомолекулярные соединения, а также крупные частицы. Они захватываются мембраной клетки, происходит ее впячивание и отшнуровывание пузырька с частицами внутрь клетки. Этот процесс называется *эндоцитозом*. При переносе макромолекул из клетки наружу процесс идет в обратном направлении и называется *экзоцитозом*. Различают два вида эндоцитоза. *Фагоцитоз* – поглощение твердых частиц, *пиноцитоз* – поглощение жидкостей.

Клеточная оболочка. Клетки растений, грибов и бактерий, кроме плазматической мембраны, снаружи имеют *клеточную оболочку* (рис. 33). Это неживая структура выполняет функции опоры и защиты. У растений оболочка состоит из целлюлозы, а у грибов оболочка содержит хитин. Оболочки клеток бактерий образованы муреином – веществом, свойственным только прокариотам. В оболочке имеются поры – отверстия, пронизанные нитями цитоплазмы (плазмодесмами), с помощью которых клетки сообщаются друг с другом.

Строение эукариотной клетки. В эукариотной клетке различают три части: наружную мембрану, цитоплазму с органоидами, ядро (рис. 34).

Цитоплазма. Представляет собой водный раствор, в котором расположены *органойды* (от греч. *organon* – орган и *eidos* – вид) и различные включения. Цитоплазма обеспечивает взаимосвязь органоидов, и в ней идут реакции обмена веществ. Цитоплазма эукариотной клетки разделена на отдельные отсеки внутриклеточными одномембранными органоидами.

Одномембранные органоиды клетки. К ним относят эндоплазматическую сеть, аппарат Гольджи и лизо-

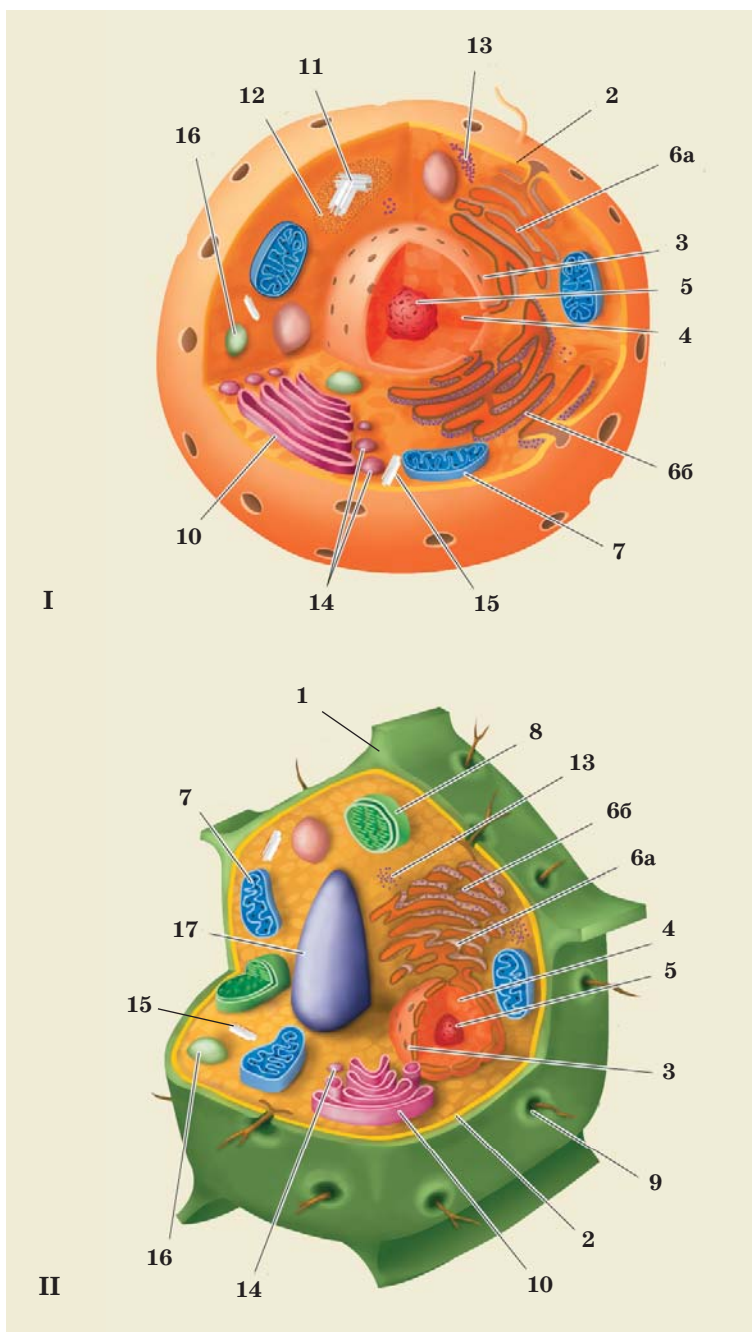


Рис. 34. Ультраструктура животной (I) и растительной (II) клеток, выявленная с помощью электронного микроскопа:

1 – оболочка (у растительных клеток); 2 – плазматическая мембрана; 3 – ядро; 4 – кариоплазма с хроматином; 5 – ядрышко; 6а – гладкая эндоплазматическая сеть; 6б – гранулярная (шероховатая) эндоплазматическая сеть; 7 – митохондрии; 8 – хлоропласт (в растительных клетках); 9 – поры и плазмодесмы (у растительных клеток); 10 – аппарат Гольджи; 11 – центриоли клеточного центра (центросомы); 12 – центросфера клеточного центра; 13 – рибосомы; 14 – лизосомы; 15 – микротрубочки; 16 – эндоцитозный пузырек; 17 – вакуоль с клеточным соком (у растительных клеток)

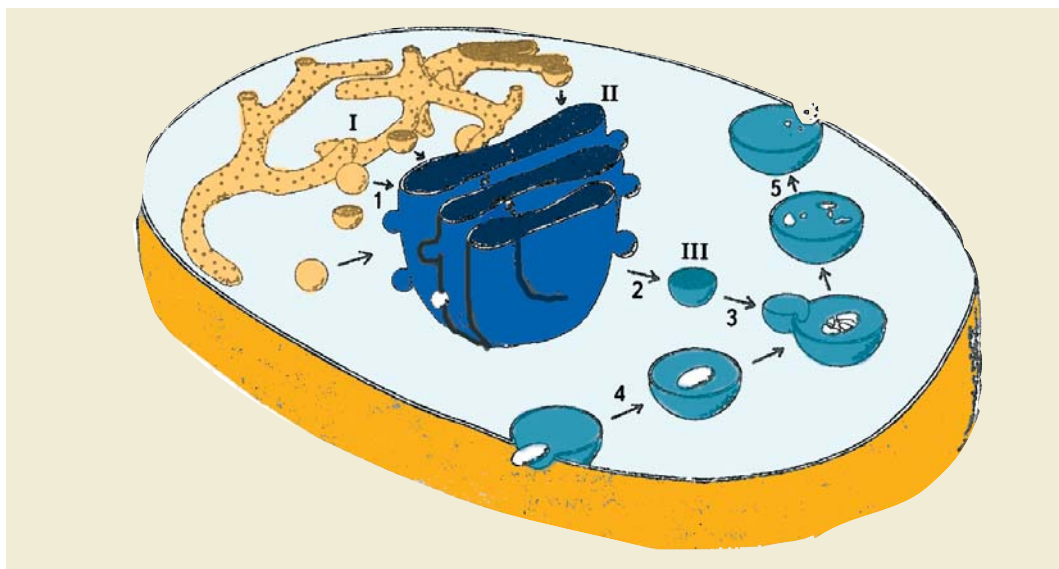


Рис. 35. Взаимосвязь одномембранных органоидов клетки: I – эндоплазматическая сеть; II – аппарат Гольджи; III – лизосома. Процессы: 1 – встраивание пузырьков ЭПС в аппарат Гольджи; 2 – образование лизосом; 3 – соединение лизосомы с эндоцитозным пузырьком; 4 – эндоцитоз и образование эндоцитозного пузырька; 5 – экзоцитоз, вынос веществ из клетки

сомы. Все они связаны между собой происхождением и по выполняемым функциям (рис. 35).

Эндоплазматическая сеть (ЭПС) пронизывает всю цитоплазму, обеспечивает разделение реакций, несмешиваемость и транспорт веществ, сообщение между отдельными частями клетки. На *гладкой ЭПС* идет синтез липидов и высокомолекулярных углеводов (гликогена). На мембране *гранулярной ЭПС* расположены рибосомы, участвующие в синтезе белков.

Аппарат Гольджи образуется из мембран ЭПС. Синтезированные на ЭПС вещества преобразуются в аппарате Гольджи, упаковываются и выносятся из клетки. Из структур аппарата Гольджи формируются *лизосомы* – пузырьки с гидролитическими ферментами, обеспечивающие внутриклеточное пищеварение.

В растительных клетках имеются также *вакуоли* – полости, ограниченные мембраной и заполненные клеточным соком. В молодых клетках вакуоли мелкие и их много. По мере роста несколько вакуолей сливаются и образуется одна большая. В вакуоли

накапливаются продукты жизнедеятельности растительной клетки. Кроме того, вакуоль поддерживает тургор клетки – натяжение ее мембраны.

Полуавтономные органоиды клетки. Они представлены митохондриями и хлоропластами, состоящими из двух мембран и имеющими свои собственные молекулы ДНК и рибосомы. Митохондрии и пластиды (хлоропласты и др.) способны к делению внутри клетки и к передаче наследственной информации.

Митохондрии характерны для всех клеток эукариот (рис. 36). Наружная мембрана митохондрий гладкая, а внутренняя имеет складки – кристы, увеличивающие внутреннюю поверхность. Внутри митохондрия заполнена матриксом, в котором расположена кольцевая молекула ДНК, различные виды РНК и рибосомы. В митохондриях происходит окончательное окисление органических веществ кислородом воздуха. Выделяющаяся при этом энергия запасается в молекулах АТФ. Поэтому митохондрии называют энергетическими станциями клетки.

Количество митохондрий в клетке зависит от ее функций. Например, в мышечных клетках содержится большое количество митохондрий, которые обеспечивают их энергией АТФ.

Хлоропласты встречаются в растительных клетках (рис. 37). Внутренняя их часть заполнена стромой –

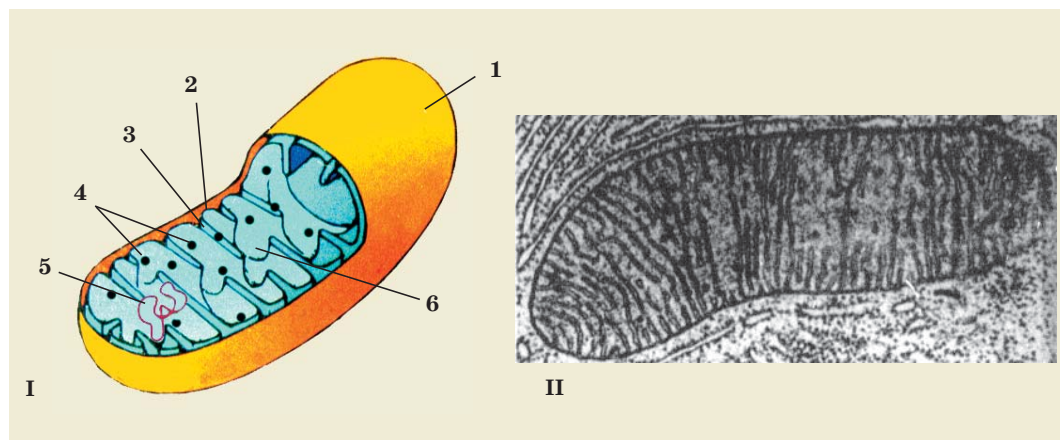


Рис. 36. Строение митохондрий: I – схема: 1 – наружная мембрана, 2 – внутренняя мембрана; 3 – кристы; 4 – рибосомы; 5 – ДНК митохондрий; 6 – матрикс; II – электронная микрофотография

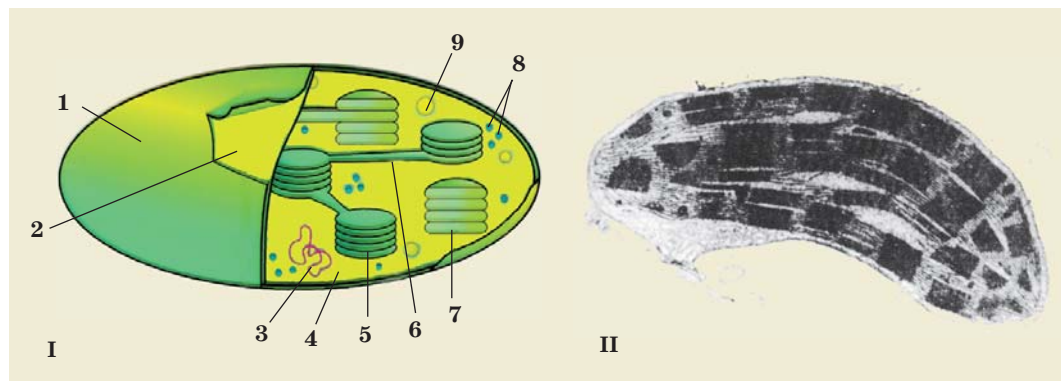


Рис. 37. Строение хлоропластов: I – схема: 1 – наружная мембрана; 2 – внутренняя мембрана; 3 – ДНК; 4 – строма; 5 – граны; 6 – ламелла; 7 – тилакоид; 8 – рибосомы; 9 – капли масла; II – электронная микрофотография

полужидким содержимым, аналогичным матриксу митохондрий. В строме находятся мембранные мешочки – тилакоиды, которые уложены в виде стопок, образующих граны. Граны соединены между собой одиночными тилакоидами – ламеллами. На мембранах располагается пигмент – хлорофилл, обеспечивающий участие хлоропластов в фотосинтезе.

Кроме хлоропластов в растительных клетках имеются еще два вида пластид: лейкопласты и хромопласты. *Лейкопласты* – бесцветные пластиды округлой формы, находящиеся в неокрашенных частях растений. Они содержат запасные питательные вещества чаще в виде зерен крахмала и могут на свету превращаться в хлоропласты. *Хромопласты* – пластиды продолговатой формы, содержащие красный, оранжевый и желтый пигменты. Они образуются из хлоропластов, придают окраску различным органам растения.

Немембранные органоиды клетки. *Рибосомы* – мелкие тельца грибовидной формы, на которых происходит синтез белка. Рибосома состоит из двух субъединиц: большой и малой (рис. 38). Каждая субъединица образована рибосомальной РНК и белком. Рибосомы в цитоплазме обычно находятся в виде двух несвязанных друг с другом субъединиц. Во время синтеза белка две субъединицы рибосомы соединяются с информационной РНК и образуют единый комплекс.

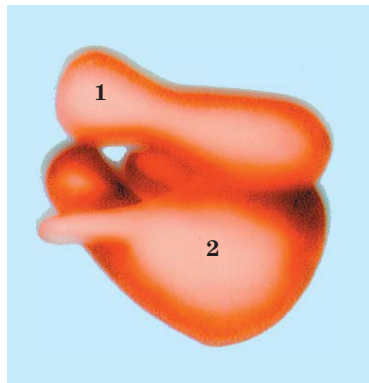


Рис. 38. Строение рибосомы: 1 – малая субъединица; 2 – большая субъединица

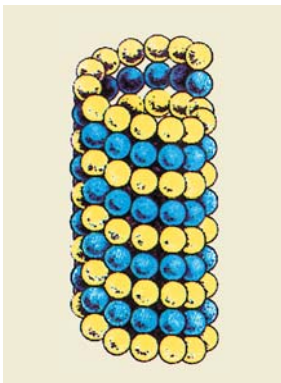


Рис. 39. Строение микротрубочки (молекулы белка тубулина)

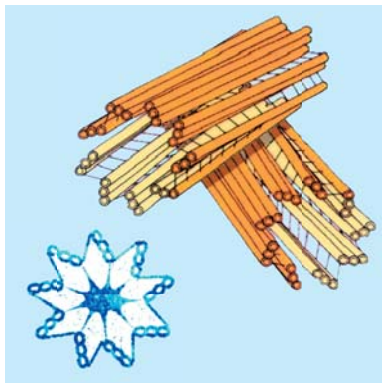


Рис. 40. Строение центриолей (внизу – поперечный разрез)

Во всех эукариотных клетках имеются полые цилиндрические органоиды – *микротрубочки* (рис. 39). Они участвуют в формировании цитоскелета клетки, т.е. выполняют функцию опоры. Кроме того, из них образованы клеточный центр и органоиды движения.

Клеточный центр, или *центросома*, представляет собой две центриоли и центросферу, состоящие из микротрубочек (рис. 40). *Центриоли* располагаются перпендикулярно друг к другу, а *центросфера* образует вокруг них ореол. Клеточный центр участвует в клеточном делении. Он формирует нити веретена деления и обеспечивает равномерное распределение хромосом в делящейся клетке. Клеточный центр характерен для всех клеток животных и низших растений.

Органоиды движения – *реснички* и *жгутики* – выросты цитоплазмы, окруженные плазматической мембраной (рис. 41). Внутри них находятся микротрубочки, сокращения которых приводят в движение всю клетку или жидкостей на ее поверхности. Кроме постоянных структурных элементов в клетке находятся различные включения – временные образования в виде зерен крахмала, каплей масла и др.

Ядро. *Ядро* характерно для всех клеток эукариот и является самым крупным клеточным органоидом. Оно отделено от цитоплазмы *ядерной оболочкой*, состоящей из двух мембран (рис. 42). В ней имеются много-

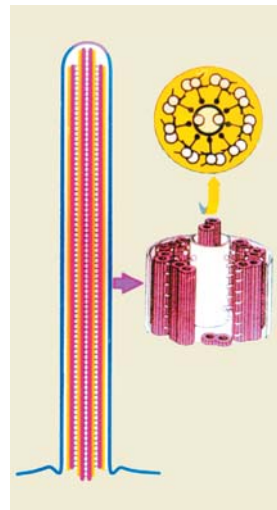


Рис. 41. Строение реснички

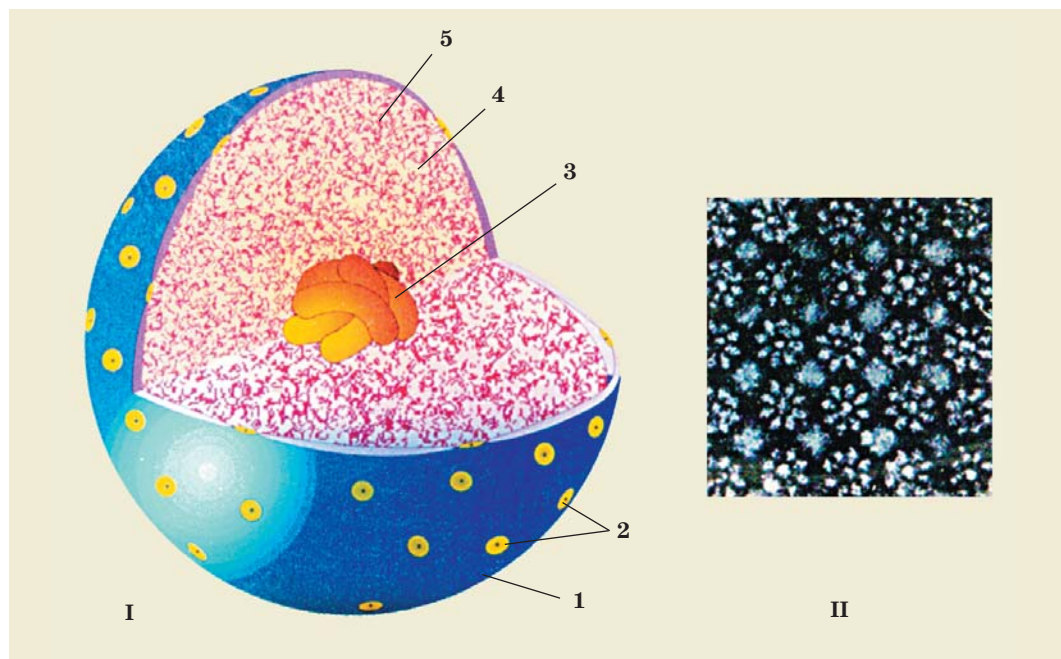


Рис. 42. Строение ядра: I – схема строения: 1 – ядерная оболочка; 2 – поры; 3 – ядрышко; 4 – кариоплазма; 5 – хроматин; II – электронная микрофотография оболочки ядра, на которой хорошо заметны поры

численные поры, через которые осуществляется транспорт веществ между цитоплазмой и ядром. Например, из ядра в цитоплазму поступают молекулы РНК, рибосомы, а из цитоплазмы в ядро – белки и необходимые клетке питательные вещества.

Внутри ядро заполнено *нуклеоплазмой*, или *кариоплазмой*. В ней находятся белки, РНК, а также молекулы ДНК, несущие наследственную информацию. Обычно в ядре молекулы ДНК не видны, так как находятся в деспирализованном состоянии и представляют собой тонкие нити *хроматина*. Во время деления они спирализуются, утолщаются, образуют комплексы с белком и превращаются в хорошо заметные структуры – *хромосомы*. Часто в ядре можно увидеть одно или несколько темных округлых образований – *ядрышек*. Это место синтеза рибосомальной РНК, образования и сборки рибосом. Ядерный аппарат регулирует все

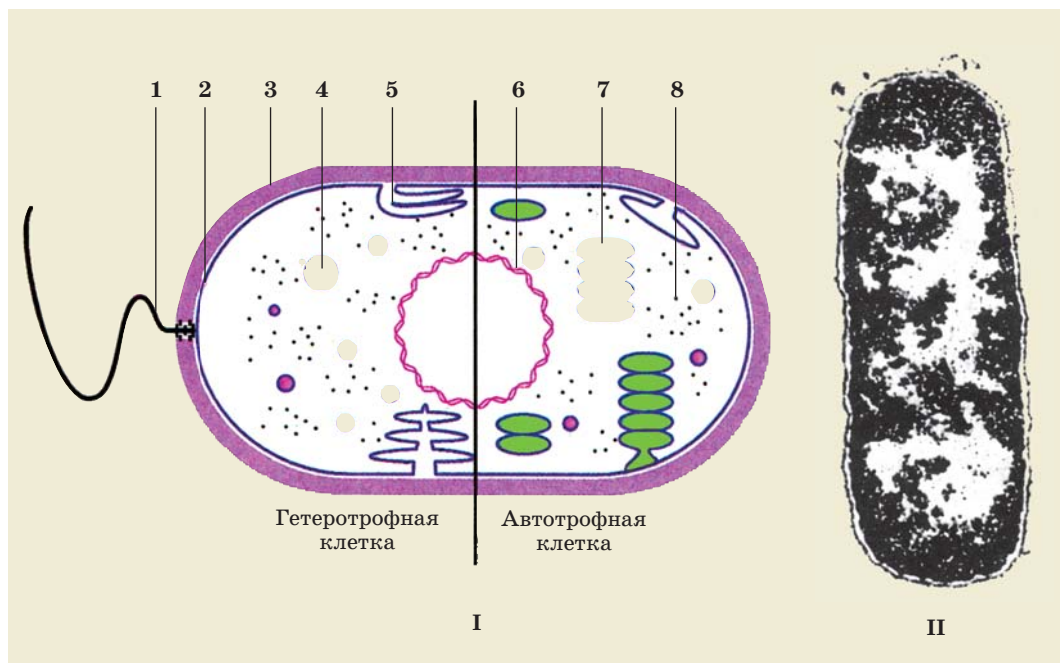


Рис. 43. Схема строения прокариотной клетки (I): 1 – жгутик; 2 – плазматическая мембрана; 3 – оболочка; 4 – включения; 5 – мезосомы (мембраны дыхания); 6 – кольцевая молекула ДНК; 7 – фотосинтезирующие мембраны; 8 – рибосомы; электронная микрофотография бактерии (II)

процессы жизнедеятельности клетки и обеспечивает передачу наследственной информации.

Строение прокариотной клетки. В отличие от эукариотной клетки прокариотная клетка имеет достаточно простое строение (рис. 43). Оболочка прокариотной клетки образована полисахаридом муреином. В центральной части в ядерной зоне располагается, как правило, одна кольцевая молекула ДНК. В цитоплазме из всех органоидов у прокариотной клетки имеются только рибосомы. Наружная мембрана образует многочисленные впячивания – *мезосомы*, которые выполняют роль митохондрий и обеспечивают процессы окисления органических веществ и синтез АТФ. У фотосинтезирующих прокариот, кроме того, имеются мембраны, обеспечивающие процесс фотосинтеза. Они по функциям идентичны хлоропластам эукариотных клеток.



Клетки: прокариотные, эукариотные; плазматическая мембрана, гликокаликс, ► пассивный транспорт, активный транспорт: эндоцитоз (фагоцитоз, пиноцитоз), экзоцитоз◄; клеточная оболочка; цитоплазма и органоиды; эндоплазматическая сеть (ЭПС), аппарат Гольджи, лизосомы, вакуоль, митохондрии, пластиды: хлоропласты, лейкопласты, хромопласты, рибосомы, микротрубочки, клеточный центр (центросома): центриоли и центросфера, реснички и жгутики; ядро, ядерная оболочка, нуклеоплазма (кариоплазма), хроматин, хромосомы, ядрышко, мезосомы.



1. В чем разница между прокариотной и эукариотной клетками? 2. Какое строение имеет плазматическая мембрана? ► 3. Как осуществляется транспорт веществ через плазматическую мембрану? ◄ 4. Какие органоиды клетки относят к одномонобренными? Как они связаны между собой и какие функции выполняют в клетке? 5. В чем сходство и различие в строении митохондрий и хлоропластов? Почему их относят к полуавтономным органоидам? 6. Где в клетке образуются рибосомы, и как они поступают в цитоплазму? 7. Какие функции выполняет в клетке клеточный центр? Что произойдет с клеткой, если в ней разрушить микротрубочки? 8. Перечислите основные функции ядра. Почему ядро считают регуляторным центром клетки? 9. Заполните таблицу (в тетради).

Строение и функции органоидов клетки

Название органоида	Строение	Функции

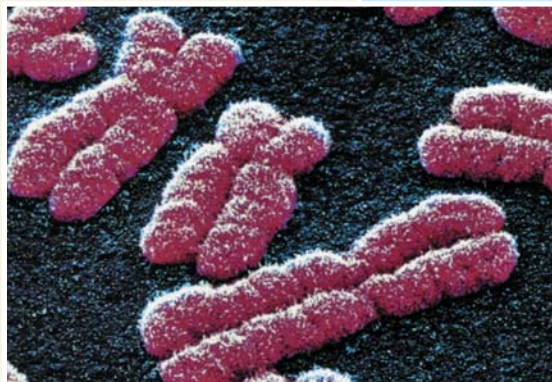
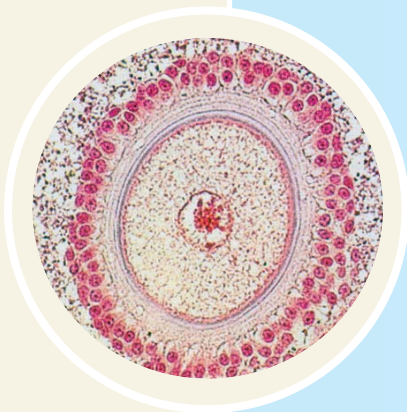


Рассмотрите готовые микропрепараты растительной, животной и грибной клеток. Что общего и особенного в их строении? Результаты работы оформите в виде таблицы (в тетради).

Сравнение клеток эукариот

Общие черты строения	Особенности строения		
	Растительная клетка	Животная клетка	Грибная клетка

ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КЛЕТКИ



§ 9.

ПЕРВИЧНЫЙ СИНТЕЗ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В КЛЕТКЕ

Вспомните, что такое фотосинтез. Почему его называют основным процессом, обеспечивающим жизнь на Земле?

ОБМЕН ВЕЩЕСТВ
И ПРЕВРАЩЕНИЕ
ЭНЕРГИИ
(МЕТАБОЛИЗМ)

- пластический обмен (ассимиляция)
- энергетический обмен (диссимиляция)

Обмен веществ и превращение энергии, или **метаболизм** (от греч. *metabole* – перемена, превращение) – это совокупность всех реакций синтеза и распада органических веществ, протекающих в клетке и связанных с выделением или поглощением энергии. Метаболизм складывается из процессов ассимиляции и диссимиляции. **Ассимиляция**, или **пластический обмен**, – совокупность реакций синтеза высокомолекулярных органических веществ, сопровождающихся поглощением энергии за счет распада молекул АТФ. **Диссимиляция**, или **энергетический обмен**, – совокупность реакций распада и окисления органических веществ, сопровождающихся выделением энергии и запасанием ее в синтезируемых молекулах АТФ.

Первичный синтез органических веществ. Фотосинтез. Жизнь на Земле зависит от фотосинтеза. **Фотосинтез** – это процесс синтеза органических веществ из неорганических (углекислого газа и воды), протекающий за счет энергии света (рис. 44).

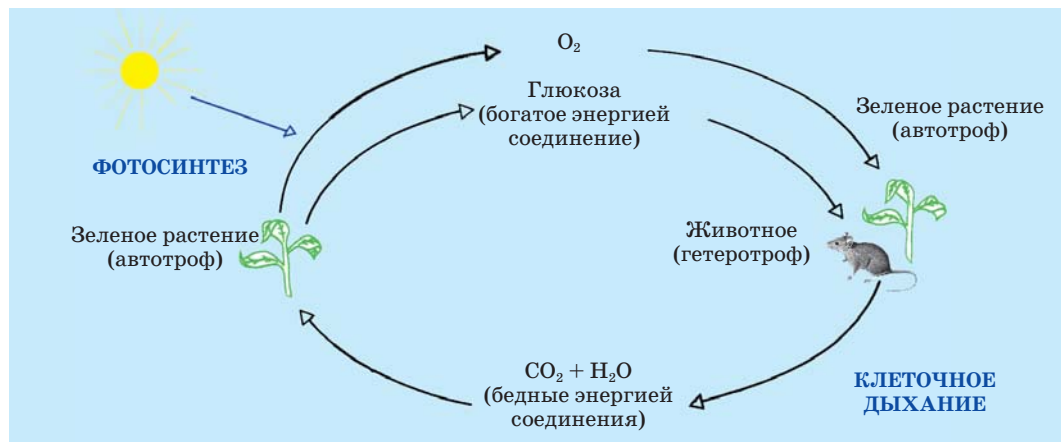
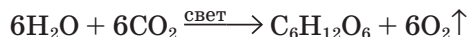


Рис. 44. Общая схема взаимосвязи фотосинтеза и дыхания

Общее уравнение фотосинтеза можно представить так:



Энергетически бедные вещества – вода и углекислый газ – при фотосинтезе превращаются в энергетически богатые органические соединения. При этом солнечная энергия аккумулируется в их химических связях. В результате фотосинтеза для биосистем становятся доступными энергия и углерод, из которого строятся все органические вещества. Кроме того, в процессе фотосинтеза в атмосферу выделяется кислород, необходимый для дыхания организмов.

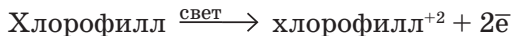
Фотосинтез протекает в две фазы: световую и темновую. Все многообразие реакций, происходящих при этом, можно разделить на две группы:

- 1) преобразование солнечной энергии и синтез АТФ, фотолиз воды за счет солнечной энергии, выделение свободного кислорода, образование водорода, связывание его с переносчиком – НАДФ⁺;
- 2) фиксация углекислого газа, его восстановление водородом, и синтез глюкозы за счет энергии АТФ.

Световая фаза. Первая фаза фотосинтеза носит название *световой*, так как она протекает под действием квантов света. Реакции световой фазы идут на мембранах тилакоидов (рис. 45).

Световая фаза состоит из нескольких параллельно идущих процессов.

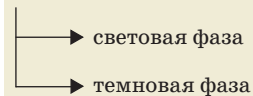
1. Возбуждение хлорофилла и перемещение электронов. Под действием солнечной энергии хлорофилл, расположенный на мембране тилакоида, переходит в возбужденное состояние, из него вылетают электроны. Он становится донором электронов и окисляется.



Возбужденные электроны перемещаются по электронно-транспортной цепи ферментов, встроенных в мембрану тилакоидов.

2. Одновременно под действием света происходит *фотолиз* – разложение молекулы воды с образованием двух протонов 2H^+ и свободного кислорода O_2 , который выделяется в атмосферу. При этом освобождаются два

ФОТОСИНТЕЗ



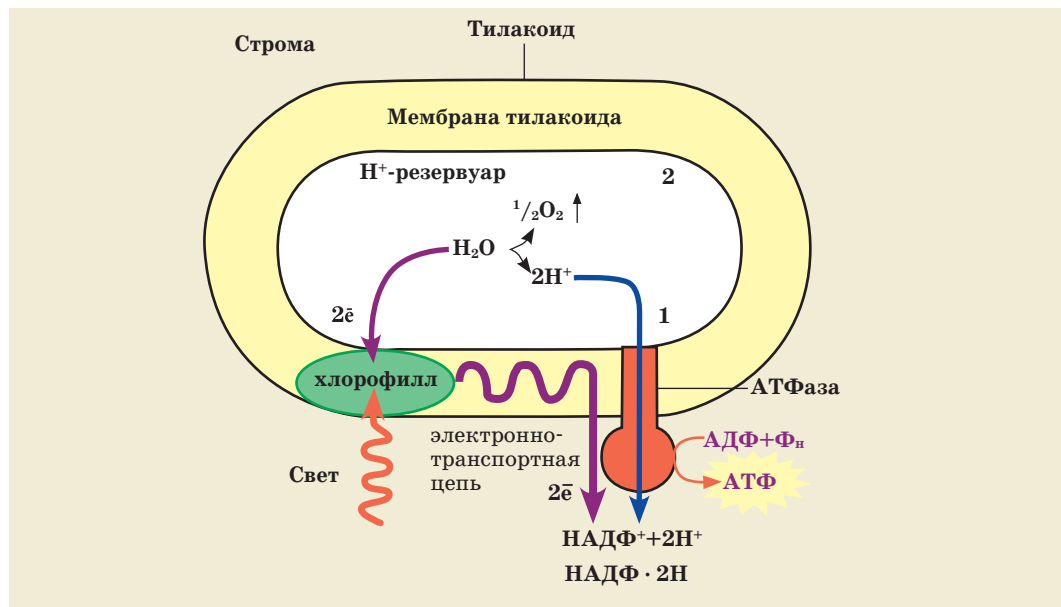
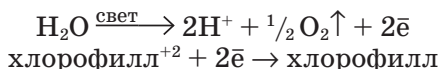
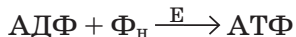


Рис. 45. Общая схема процессов световой фазы фотосинтеза, протекающая в тилакоиде: 1 – протонный канал; 2 – внутренний резервуар тилакоида

электрона, которые поступают на хлорофилл, потерявший свои электроны, и он восстанавливается.



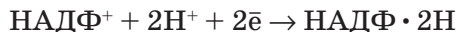
3. За счет энергии возбужденных электронов хлорофилла, которые перемещаются по цепи ферментов, происходит синтез АТФ. Этот процесс называется *фосфорилированием* и обеспечивается специальным ферментом АТФазой.



(где Φ_n – неорганический фосфат H_3PO_4 , E – энергия).

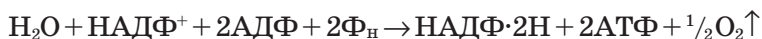
4. Параллельно с синтезом АТФ идет соединение протонов H^+ с переносчиком $НАД\Phi^+$ (никотинамидадениндинуклеотидфосфатом). $НАД\Phi^+$ является активным компонентом белков-ферментов, ускоряющих окислительно-восстановительные реакции. Это вещество способно легко присоединять протоны H^+ и отдавать их, соответственно окисляя или восстанавливая

субстрат. Молекулы переносчика водорода НАДФ⁺ принимают возбужденные электроны хлорофилла и за счет их энергии соединяются с ионами Н⁺ с образованием НАДФ · 2Н.



Синтез АТФ и НАДФ · 2Н сопряжен с переносом возбужденных электронов по электронно-транспортной цепи и протекает параллельно. Энергия света преобразуется в энергию возбужденных электронов, а далее запасается в молекулах АТФ и НАДФ · 2Н.

Суммарная реакция световой фазы:



Темновая фаза. Присоединение (фиксация) углекислого газа происходит в *темновую фазу* фотосинтеза (рис. 46).

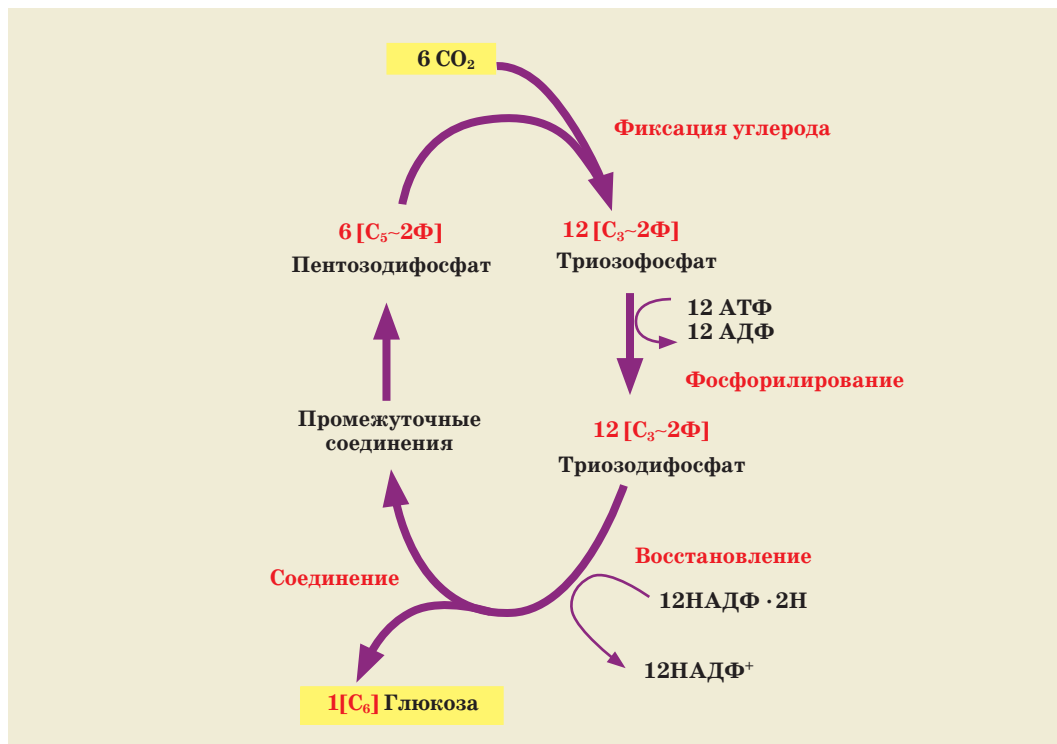
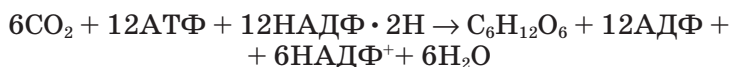


Рис. 46. Общая схема темновых реакций фотосинтеза. Цикл Кальвина

Реакции темновой фазы протекают в строме хлоропластов, куда поступают молекулы НАДФ • 2Н, АТФ из световой фазы и углекислый газ из атмосферы. В результате последовательных циклических реакций синтезируется глюкоза. Реакции этой фазы были описаны американским биохимиком М. Кальвином и получили название *цикла Кальвина*. Вначале происходит связывание молекул CO₂ с промежуточным соединением. Образовавшееся соединение активируется за счет энергии АТФ и восстанавливается водородом за счет НАДФ • 2Н. В результате ряда реакций синтезируется глюкоза.



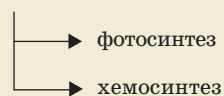
Освобожденные молекулы АДФ и НАДФ⁺ вновь возвращаются к мембранам тилакоидов для участия в световых реакциях.

Значение фотосинтеза. Фотосинтез – важнейший процесс живой природы. Благодаря ему из неорганических соединений под действием энергии солнечного света синтезируются первичные органические вещества. Они используются организмами для построения клеток, а также в качестве источника энергии для процессов жизнедеятельности. Человечество своим существованием обязано фотосинтезу. Все запасы горючего на Земле и пищи – это продукты фотосинтеза. Фотосинтез служит также в качестве основного источника энергии и сырья для отраслей промышленности (уголь, торф, древесина, растительные волокна). Поглощение углекислого газа и выделение кислорода в процессе фотосинтеза поддерживает газовый состав атмосферы Земли.

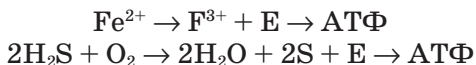
Хемосинтез. Процесс синтеза органических веществ из неорганических за счет энергии окисления неорганических веществ называется *хемосинтезом*.

Хемосинтезирующие организмы – это в основном бактерии. Для синтеза органических веществ они используют энергию химических реакций, освобождаемую при окислении неорганических соединений. В зависимости от того, окисление какого вещества сопровождается выделением энергии, различают азотфиксирующие бактерии, нитрифицирующие бакте-

АВТОТРОФНОЕ ПИТАНИЕ



рии, железобактерии и серобактерии. Процессы хемосинтеза у них происходят на выростах плазматической мембраны – мезосомах. Источником протонов в этих реакциях служат не только вода, но и другие неорганические вещества, например, сероводород и водород. Высвобождающаяся при этом энергия запасается в молекулах АТФ, а потом используется для синтеза органических веществ.



Хемосинтезирующие бактерии играют важную роль в биосфере. Они обеспечивают круговорот важнейших химических элементов в природе.



Обмен веществ и превращение энергии (метаболизм): ассимиляция (пластический обмен), диссимиляция (энергетический обмен); фотосинтез и его фазы: световая, темновая; фотолиз, фосфорилирование, цикл Кальвина; хемосинтез.



1. Что такое метаболизм? Из каких процессов он складывается? 2. В каких органоидах клетки происходит первичный синтез органических веществ? 3. Какую роль в фотосинтезе играет хлорофилл? 4. Как происходит восстановление потерянных хлорофиллом электронов? 5. Как используется энергия возбужденных квантами света электронов? 6. Перечислите основные реакции световой фазы. 7. Какие реакции идут в темновой фазе? 8. Чем реакции хемосинтеза отличаются от фотосинтеза? Какие организмы являются хемосинтетиками?



Сравните световую и темновую фазы фотосинтеза. Заполните таблицу (в тетради).

Фотосинтез и его реакции

Параметры для сравнения	Световая фаза	Темновая фаза
Место реакции в хлоропластах		
Условия реакций		
Исходные вещества		
Продукты реакций		
Источник энергии		

§ 10.

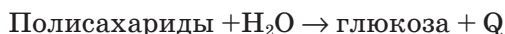
ПРОЦЕССЫ РАСЩЕПЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВ В КЛЕТКЕ

Вспомните, что такое диссимиляция. Какую роль в диссимиляции играет АТФ? Почему АТФ называют универсальным источником энергии в клетке?

Для жизнедеятельности клетки и организма необходима энергия. Растения аккумулируют солнечную энергию в органических веществах при фотосинтезе. Дальнейшее выделение и преобразование энергии происходит при расщеплении органических веществ в процессе диссимиляции, или энергетического обмена. Энергия химических связей освобождается. Частично она рассеивается в виде тепла, а частично запасается в молекулах АТФ. У животных энергетический обмен протекает в три этапа.

Первый этап – подготовительный. Пища поступает в организм животных и человека в виде сложных высокомолекулярных соединений. На подготовительном этапе происходит ферментативное расщепление органических веществ при участии воды – гидролиз.

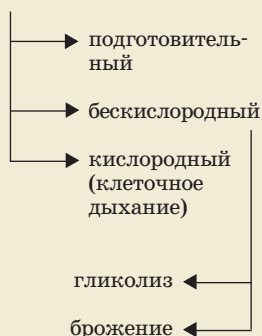
Белки, жиры и углеводы расщепляются в пищеварительном тракте под действием ферментов до мономеров. Образующиеся низкомолекулярные вещества поступают в кровь и в лимфу и доставляются ко всем клеткам. На этом этапе идет подготовка веществ к внутриклеточному расщеплению. На клеточном уровне этот этап протекает в лизосомах, в которых содержатся гидролитические ферменты.



Вся энергия на этом этапе выделяется в виде тепла.

Второй этап – бескислородный. Он осуществляется в цитоплазме клетки в отсутствии кислорода. Рассмотрим этот процесс на примере глюкозы. Бескислородное расщепление глюкозы называют *гликолизом* (рис. 47). Глюкоза претерпевает ряд последовательных превращений, в результате чего образуются две молекулы пи-

ЭТАПЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА



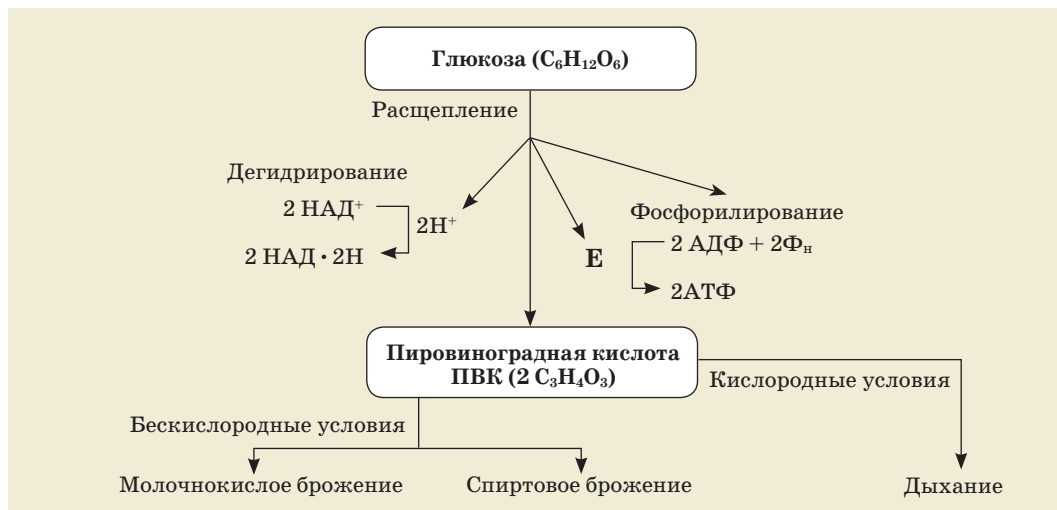
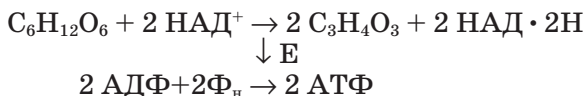


Рис. 47. Схема процесса гликолиза

ровиноградной кислоты (ПВК). Одновременно с промежуточных соединений снимаются два протона, которые соединяются с переносчиком НАД^+ (никотинамиддениндинуклеотидом) и образуется $\text{НАД} \cdot 2\text{Н}$. НАД^+ – компонент ферментов, аналогичный НАДФ^+ . Энергия, выделяемая в этих реакциях, в основном расходуется в виде тепла и лишь небольшая часть запасается в двух молекулах АТФ. Обобщенная схема реакций бескислородного этапа выглядит следующим образом.



В зависимости от типа клеток и организмов, пировиноградная кислота может превращаться в молочную кислоту, этиловый спирт или другие органические вещества. Бескислородные процессы называют *брожением*.

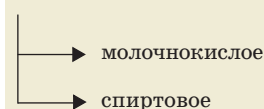
Молочнокислое брожение:



Спиртовое брожение:



БРОЖЕНИЕ



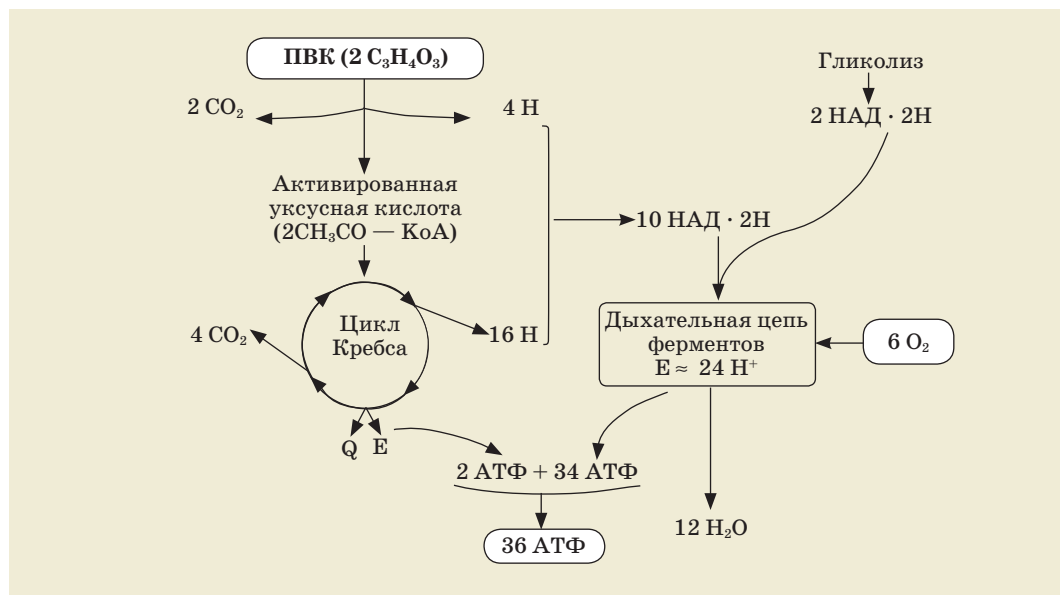


Рис. 48. Схема биологического окисления ПВК в митохондриях

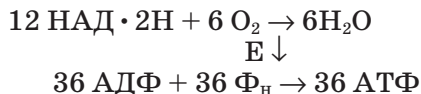
Третий этап – кислородный протекает в митохондриях клетки только в присутствии кислорода. Иначе его еще называют *биологическим окислением*, или *клеточным дыханием* (рис. 48).

Пировиноградная кислота поступает в митохондрии, где в результате циклических реакций преобразуется в углекислый газ. Весь водород при этом соединяется с переносчиком НАД^+ . Этот процесс происходит в матриксе митохондрий.



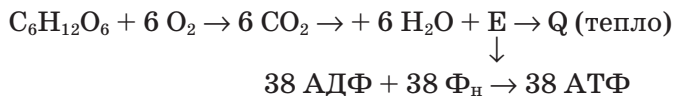
Все образовавшиеся на двух этапах молекулы $\text{НАД} \cdot 2\text{Н}$ поступают на кристы митохондрий, где расположены дыхательные ферменты. Здесь от переносчика $\text{НАД} \cdot 2\text{Н}$ одновременно отщепляются протоны H^+ и снимаются электроны. За счет их энергии на мембранах митохондрий синтезируется 36 молекул АТФ, а сами электроны присоединяются к кислороду, который с ионами водорода образует воду. Синтез молекул АТФ, сопряженный с процессом окисления водорода, называется *окислительным фосфорилирова-*

нием. Обобщенная реакция кислородного этапа выглядит следующим образом:



Таким образом при расщеплении глюкозы на двух этапах образуется суммарно 38 молекул АТФ, причем основная часть – при кислородном окислении.

Суммарное уравнение энергетического обмена глюкозы:



Обобщенная схема энергетического обмена веществ в животной клетке представлена на рис. 49.

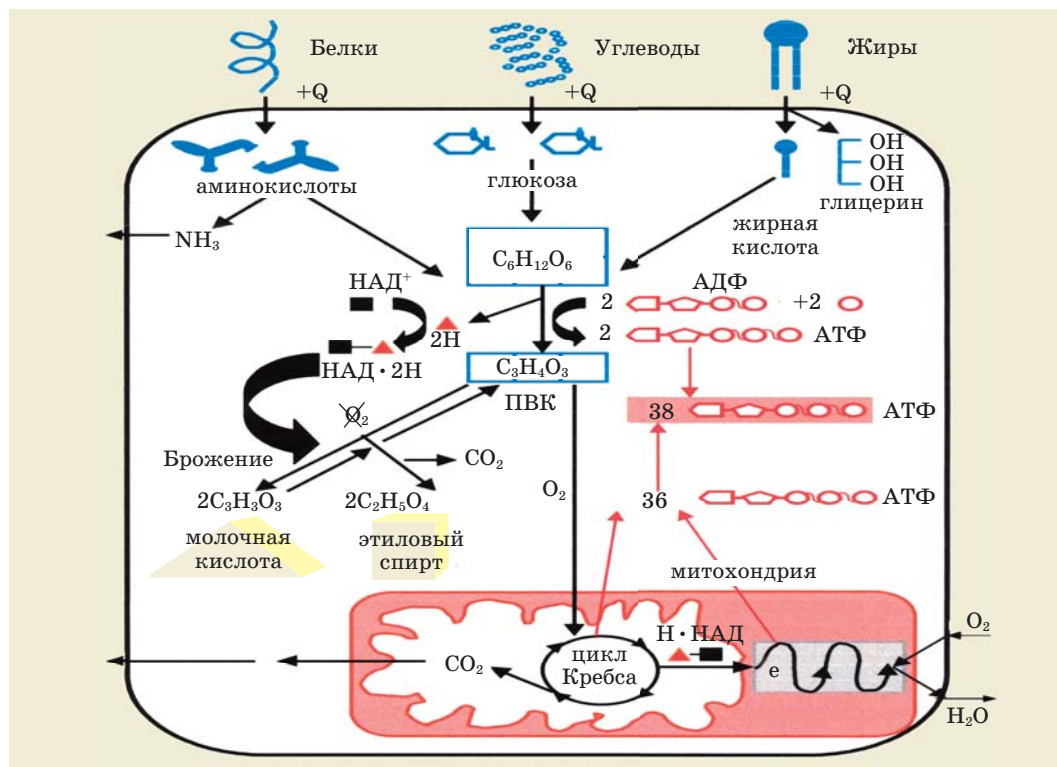


Рис. 49. Общая схема энергетического обмена веществ в животной клетке

Как видно на схеме, белки и жиры на определенном этапе втягиваются в энергетический обмен аналогично глюкозе. Аминокислоты, глицерин и высшие жирные кислоты превращаются в уксусную, пировиноградную и другие кислоты цикла Кребса, окисляются с образованием CO_2 и H_2O .

Эффективность энергетического обмена. Энергия, запасенная в 1 моль АТФ, составляет 30,6 кДж/моль. При полном окислении глюкозы на двух этапах освобождается энергия, достаточная для синтеза 38 АТФ, в которых запасается 40,37% энергии. Эта энергия впоследствии расходуется на реакции ассимиляции, т.е. пластического обмена, связанные с синтезом органических веществ. Кислородный путь обмена глюкозы в 19 раз эффективнее бескислородного. В процессе дыхания энергия запасается в молекулах АТФ.



Этапы энергетического обмена: подготовительный, бескислородный, кислородный; гликолиз, брожение: молочнокислое, спиртовое; биологическое окисление (клеточное дыхание); окислительное фосфорилирование.



1. Что общего в реакциях гидролиза белков, жиров и углеводов? 2. Как используется энергия, освобождающаяся на подготовительном этапе энергетического обмена? 3. В каких органоидах клетки протекают бескислородный и кислородный этапы? 4. Почему на кислородном этапе запасается значительно больше энергии? 5. Какое значение для эволюции организмов имело появление кислородного этапа окисления органических веществ?



Сравните между собой этапы энергетического обмена. Заполните таблицу (в тетради).

Энергетический обмен и его реакции

Название этапа	Место протекания реакций	Исходные вещества	Продукты реакции



Эффективность биологического окисления не вызывает сомнения, его к.п.д. составляет 40,37%. В лучших турбинах к.п.д. составляет 20–25%, а в двигателях внутреннего сгорания – 35%.

§ 11.

БИОСИНТЕЗ БЕЛКА

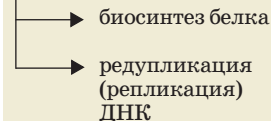
Рассмотрите рисунки 50–53. Какие химические вещества и клеточные органоиды на них изображены? Вспомните, какая структура белка определяет его строение и свойства. Где закодирована эта информация?

Специфичность каждой клетки определяется набором ее белков. Информация о структуре белков отдельной клетки и всего организма является наследственной. С ней связана способность клеток поддерживать высокую степень упорядоченности своей организации.

Генетическая информация и ДНК. *Ген* (от греч. *genos* – род, происхождение) – определенная последовательность нуклеотидов участка в молекуле ДНК, несущий информацию о первичной структуре одного белка (полипептида).

Генетическая информация реализуется в реакциях биосинтеза РНК, белка и редупликации ДНК. В каждой из них информация, заключенная в последовательности нуклеотидов одной молекулы, используется для создания другой последовательности: либо нуклеотидов (в РНК или ДНК), либо аминокислот (в белках). ДНК служит матрицей для синтеза всех РНК – информационной, транспортной и рибосомальной, участвующих в биосинтезе белка. Таким образом, каждая молекула является определенной матрицей для другой молекулы. Матрица – это некая форма, служащая шаблоном для получения множества оттисков, стереотипов. В данном случае на матрице ДНК получают соответствующие молекулы РНК. Такие процессы с использованием матрицы называются реакциями *матричного синтеза*.

Генетическая информация записана на ДНК в виде последовательности четырех типов нуклеотидов, содержащих различные азотистые основания – аденин (А), тимин (Т), гуанин (Г), цитозин (Ц), т.е. с помощью четырехбуквенного алфавита. Правила перевода последовательности нуклеотидов в нуклеиновой кислоте в аминокислотную последовательность белка

РЕАКЦИИ
МАТРИЧНОГО
СИНТЕЗА

называется *генетическим кодом*. Он был расшифрован в 60-х гг. XX в. В результате ряда экспериментов и математических расчетов было определено, что одна аминокислота кодируется тремя нуклеотидами. Число различных сочетаний трех нуклеотидов в молекуле ДНК составляет 4^3 , а генетический код состоит из 64 нуклеотидных триплетов – кодонов ($4^3 = 64$), которых с избытком хватает для 20 аминокислот (табл. 7). Генетический код записан с помощью кодонов иРНК, так как именно на этих молекулах происходит синтез белка.

Таблица 7

Генетический код (кодоны иРНК)

Первое основание	Второе основание				Третье основание
	У	Ц	А	Г	
У	Фен	Сер	Тир	Цис	У
	Фен	Сер	Тир	Цис	Ц
	Лей	Сер	Стоп-кодон	Стоп-кодон	А
	Лей	Сер	Стоп-кодон	Три	Г
Ц	Лей	Про	Гис	Арг	У
	Лей	Про	Гис	Арг	Ц
	Лей	Про	Глн	Арг	А
	Лей	Про	Глн	Арг	Г
А	Иле	Тре	Асн	Сер	У
	Иле	Тре	Асн	Сер	Ц
	Иле	Тре	Лиз	Арг	А
	Мет	Тре	Лиз	Арг	Г
Г	Вал	Ала	Асп	Гли	У
	Вал	Ала	Асп	Гли	Ц
	Вал	Ала	Глу	Гли	А
	Вал	Ала	Глу	Гли	Г

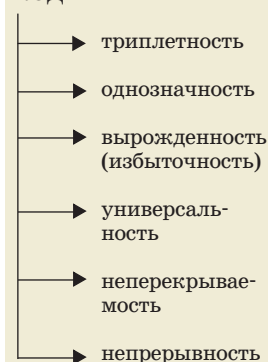
► **Свойства генетического кода.**

1. Код *триплетен* – каждой аминокислоте соответствует сочетание из трех нуклеотидов. Всего таких сочетаний 64. Из них 61 – смысловые, т.е. соответствуют аминокислотам, а 3 – бессмысленные (стоп-триплеты). Они не кодируют аминокислоты, а заполняют промежутки между генами.
2. Код *однозначен* – каждый триплет кодирует только одну аминокислоту.
3. Код *вырожден (избыточен)* – большинство аминокислот кодируется более чем одним триплетом. Например, аминокислота глицин имеет 4 триплета: ЦЦА, ЦЦГ, ЦЦТ, ЦЦЦ. Аминокислотам соответствуют от 2 до 6 триплетов. Только две аминокислоты (метионин и триптофан) имеют по одному триплету.
4. Код *универсален* – все организмы на нашей планете имеют один и тот же генетический код для записи последовательности аминокислот.
5. Код *неперекрываем* – конечный нуклеотид одного триплета не может служить началом другого.
6. Код *непрерывен* – между триплетами, кодирующими аминокислоты, нет промежутков. ◀

Синтез белка происходит в цитоплазме на рибосомах, а информация о структуре белка (последовательности аминокислот) записана в молекуле ДНК в ядре. Для этих реакций необходима структура, которая переносила бы информацию от ДНК к месту синтеза белка. Это информационная, или матричная, РНК. Кроме того, нужно закодировать и доставить аминокислоты к месту сборки белковой молекулы. Эту роль выполняют транспортные РНК.

Транскрипция. Процесс биосинтеза иРНК на ДНК называют *транскрипцией* (от лат. *transcriptio* – переписывание). Она происходит в ядре. Транскрипция осуществляется на участке молекулы ДНК – гене, содержащем информацию о конкретном белке. Синтезируемая РНК является копией этого участка ДНК.

Для начала реакции фермент РНК-полимераза соединяется с определенным участком ДНК и раскручивает двойную спираль, разрушая при этом водородные связи между цепями (рис. 50). Одна из цепей ДНК служит матрицей для синтеза иРНК. На ней по принципу

**СВОЙСТВА
ГЕНЕТИЧЕСКОГО
КОДА**

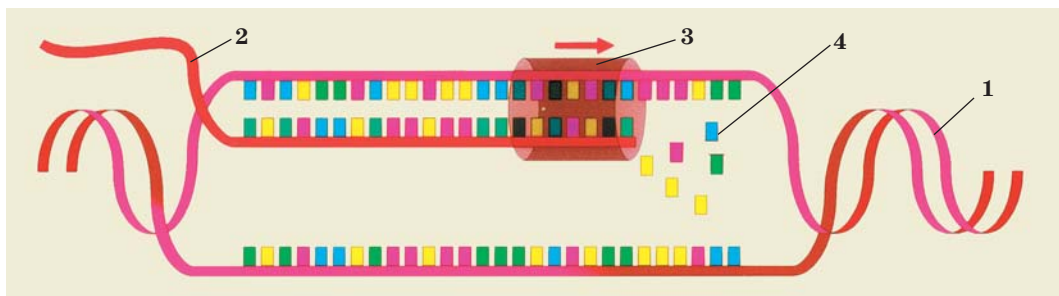


Рис. 50. Синтез информационной РНК: 1 – молекула ДНК; 2 – синтезируемая молекула иРНК; 3 – фермент РНК-полимераза; 4 – нуклеотиды

комплементарности выстраиваются нуклеотиды. Фермент РНК-полимераза, шаг за шагом продвигаясь по цепи ДНК, соединяет нуклеотиды между собой. В результате такого движения синтезируется РНК-копия.

Процесс синтеза иРНК продолжается до стоп-триплета, который прекращает движение фермента и синтез РНК. Фермент и синтезированная иРНК отделяются от ДНК – синтез копии завершен. Молекула ДНК восстанавливает после этого свою двойную спираль. Информационная РНК выходит из ядра в цитоплазму и далее участвует в биосинтезе белка.

Биосинтез белка. Процесс биосинтеза белка, осуществляемый на рибосоме с помощью информационной РНК, называют *трансляцией* (от лат. *translatio* – передача). Перед началом реакции аминокислоты активи-

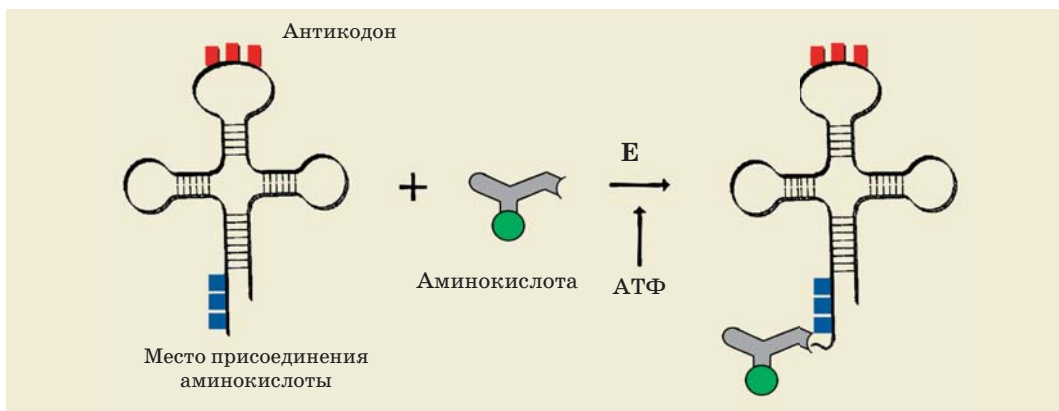


Рис. 51. Активирование и кодирование аминокислоты

руются и кодируются транспортными РНК (рис. 51). В ее центральной петле находится *антикодон* – нуклеотидный триплет, соответствующий кодону определенной аминокислоты на информационной РНК. Своим антикодоном тРНК способна по принципу комплементарности соединяться с соответствующим кодоном на иРНК. Каждая аминокислота присоединяется к своей специфической тРНК с соответствующим антикодоном. Соединение аминокислоты с тРНК осуществляется с помощью специальных ферментов за счет энергии АТФ.

В цитоплазме синтезированная в процессе транскрипции иРНК соединяется с двумя субъединицами рибосомы. В рибосоме имеются два участка, которые могут удерживать две молекулы тРНК с аминокислотой и растущей полипептидной цепью соответственно. По принципу комплементарности первая тРНК с аминокислотой соединяется своим антикодоном с кодоном на иРНК и оказывается в первом участке рибосомы. Образуется комплекс: рибосома, иРНК, тРНК с аминокислотой (рис. 52). Далее начинается сборка полипептидной цепи. Каждая следующая тРНК с аминокислотой соединяется антикодом с кодоном и РНК. Рибосома передвигается на один триплет. Первая тРНК — аминокислота перемещается во второй участок, а ее место занимает следующая тРНК с аминокислотой. Две аминокислоты сближаются друг с другом, между ними возникает пептидная связь, и образуется дипептид. Рибосома передвигается вновь на один триплет, первая тРНК освобождает-

ЭТАПЫ БИОСИНТЕЗА БЕЛКА

- транскрипция
- трансляция

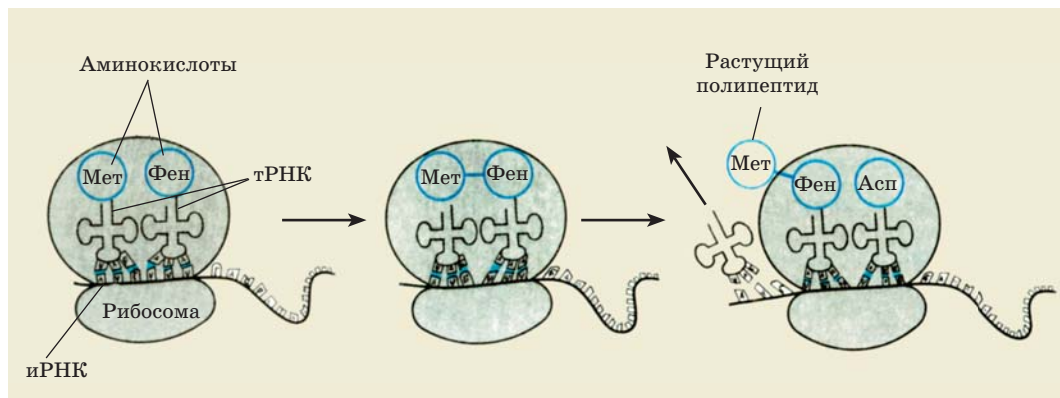


Рис. 52. Общая схема биосинтеза белка

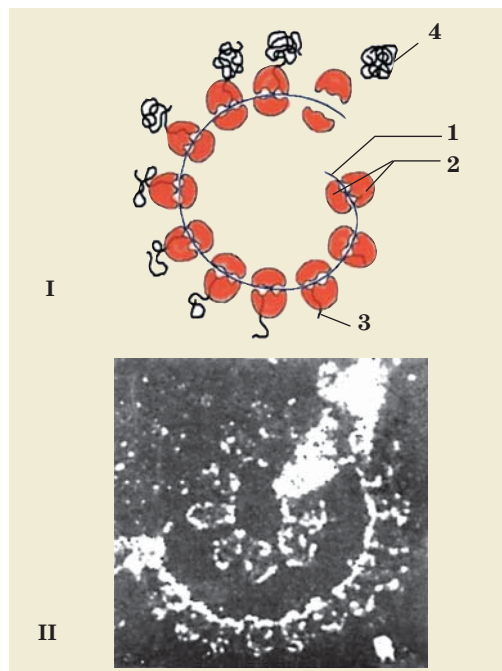


Рис. 53. Полирибосома, или полисома: I – схема: 1 – молекула информационной РНК; 2 – субъединицы рибосомы; 3 – синтезируемая полипептидная цепь; 4 – синтезируемый белок; II – электронная микрофотография

ся и покидает рибосому. Вторая тРНК с дипептидом перемещается на ее место во второй участок. В рибосому входит третья тРНК с аминокислотой, которая далее соединяется с дипептидом и образуется трипептид. Процесс повторяется. Каждый этап сопровождается расщеплением АТФ и выделением энергии, необходимой для движения рибосомы, иРНК и биосинтеза полипептидной цепи.

Как только на иРНК начинаются стоп-кодона синтез прекращается. Рибосома снимается с иРНК и распадается на две субъединицы. Последняя тРНК также освобождается, а синтезированный полипептид поступает в каналы ЭПС или цитоплазму, где претерпевает изменения и приобретает соответствующие молекуле белка структуры.

Процесс трансляции на одной иРНК обычно осуществляется многократно. Одна иРНК соединяется с несколькими рибосомами, образуя *полирибосому*, или *полисому* (рис. 53). На ней одновременно идет синтез многих молекул одного белка.



Ген, генетическая информация, матричный синтез; генетический код ► и его свойства: триплетность, однозначность, вырожденность (избыточность), универсальность, неперекрываемость, непрерывность; ◄ транскрипция, трансляция, антикодон, полирибосома (полисома).



1. Объясните последовательность передачи наследственной информации: ген – белок. 2. Что такое генетический код? ► Охарактеризуйте его свойства. ◄ 3. Какие виды РНК синтезируются на ДНК? Как называется этот процесс? 4. Опишите процесс трансляции. 5. Каким образом в клетке синтезируются одновременно несколько молекул одного и того же белка? 6. Используя таблицу генетического кода, определите фрагмент иРНК, антикодоны тРНК и аминокислотный состав фрагмента полипептидной цепи, если участок гена на ДНК имеет следующую нуклеотидную последовательность: ГАТГАЦАГГАТГЦЦТГТЦТГТ-ТЦААГГТАЦТЦАТТ.

§ 12. КЛЕТОЧНЫЙ ЦИКЛ И МИТОЗ

Какое значение для клетки имеет процесс редупликации (самоудвоения) ДНК? Из чего состоят хромосомы клетки? На какие два периода подразделяют жизненный цикл клетки? Какой признак живого обеспечивается делением клетки?

Непрерывность жизни на Земле обеспечивается клеточным делением. С момента образования и до деления в клетке происходят ряд событий, обеспечивающих ее рост, развитие и размножение. Период жизни клетки от момента ее возникновения в результате деления до следующего деления или смерти называют *клеточным циклом*, или *жизненным циклом клетки* (рис. 54).

Интерфаза. *Интерфаза* (от лат. *inter* – между и греч. *phasis* – появление) – это период в жизненном цикле

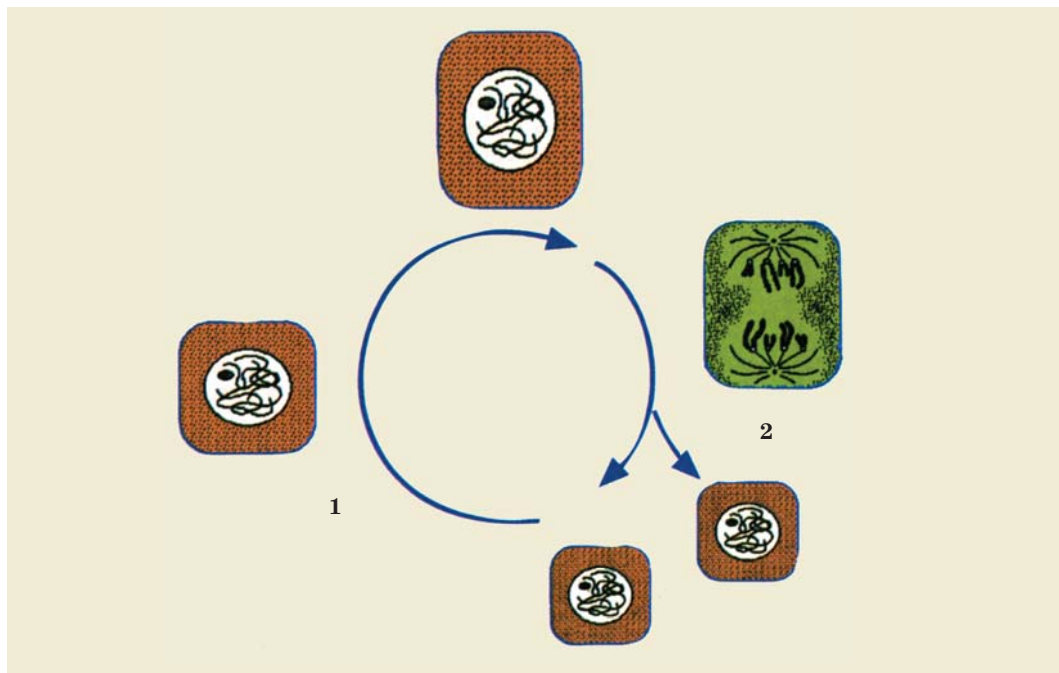


Рис. 54. Клеточный цикл и его периоды: 1 – интерфаза; 2 – деление клетки (митоз)

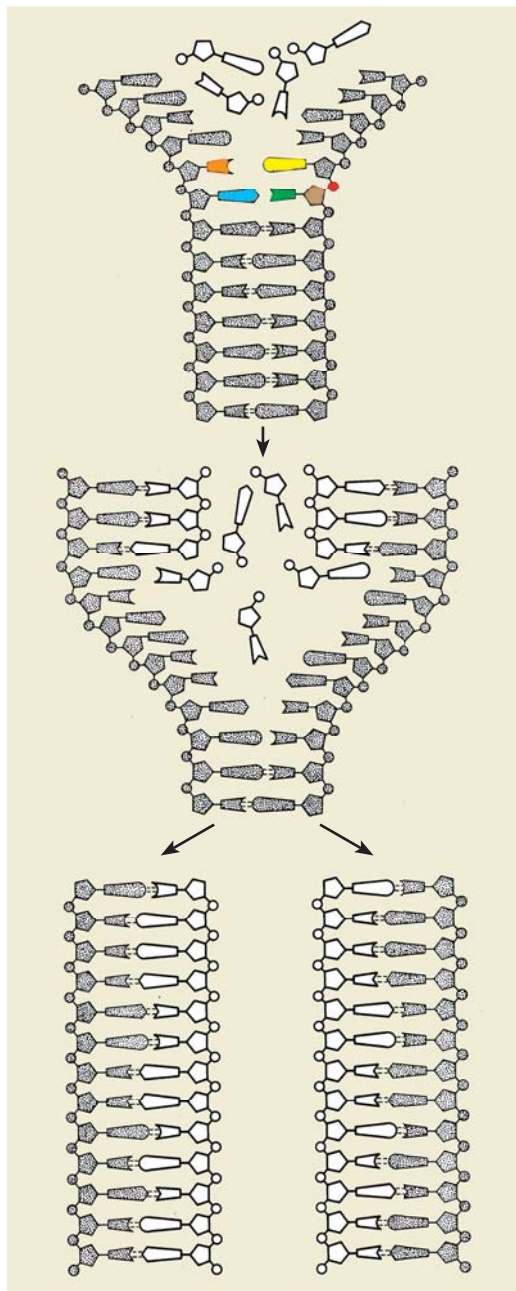


Рис. 55. Схема процесса редупликации ДНК

клетки между двумя последовательными делениями. Интерфаза характеризуется активными процессами обмена веществ в клетке, биосинтезом белков, нуклеиновых кислот, углеводов, липидов, увеличением количества всех клеточных органоидов, ростом и увеличением объема цитоплазмы. Наиболее важное событие интерфазы – синтез ДНК. Удвоение многих компонентов клетки не требует точности. Они при делении распределяются более или менее равномерно между двумя дочерними клетками. Исключением являются молекулы ДНК: они должны удвоиться и поровну распределиться между образующимися клетками. Иначе новые клетки не станут точными копиями материнской клетки.

Синтез ДНК. Процесс самоудвоения молекулы ДНК, обеспечивающий точное копирование генетической информации, называют *редупликацией* (*репликацией*). В ее основе лежит полуконсервативный синтез. Каждая цепь молекулы ДНК служит матрицей для синтеза соответствующей недостающей цепи. Новые молекулы ДНК содержат одну новую и одну исходную цепь ДНК.

Редупликация начинается с раскручивания и разъединения фрагмента двойной спирали ДНК с одного конца (рис. 55). Специальные белки раскручивают спираль и расплетают двойную цепь, предотвращая повторное их соединение. По принципу комплементарности на каждой из цепей ДНК выстраиваются нуклеотиды. Фермент ДНК-полимераза, передвигаясь по каждой из цепей, соединяет между собой нуклеотиды.

После синтеза фрагмента белки раскручивают цепь дальше, и синтез продолжается. Весь процесс репликации обеспечивается энергией за счет расщепления АТФ. После окончания синтеза две дочерние молекулы ДНК расходятся, спирализуются и приобретают соответствующую структуру. Таким образом, каждая из вновь синтезированных молекул ДНК состоит из одной новой и одной исходной цепи.

Копирование ДНК происходит с высокой точностью. В среднем на каждые $1 \cdot 10^9$ комплементарных пар нуклеотидов, образующихся в ходе репликации, приходится одна ошибка. Эти ошибки устраняются особыми белками, распознающими и удаляющими неправильные нуклеотиды. Точность копирования обеспечивает правильность передачи наследственной информации.

К концу интерфазы удваиваются центриоли в клеточном центре. Интерфаза заканчивается, и клетка вступает в следующий период клеточного цикла – в стадию митоза. Продолжительность интерфазы зависит от типа клеток и в среднем составляет не менее 90% от общего времени клеточного цикла.

Хромосомы и хромосомный набор клетки. Важная роль в клетке принадлежит *хромосомам* (от греч. *chroma* – цвет и *soma* – тело) – комплексам молекул ДНК и белков. Большинство хромосом в интерфазе находятся в виде тонких нитей, что делает их невидимыми. После репликации каждая хромосома состоит из двух молекул ДНК, которые спирализуются, соединяются с белками и приобретают четкие формы. Две дочерние молекулы ДНК упаковываются порознь и образуют сестринские хроматиды, которые соединяются центромерой. Сестринские хроматиды вместе образуют одну хромосому (рис. 56). Изучать форму и размеры хромосом, установить их число в клетке можно только во время деления, когда они максимально спирализованы, плотно упакованы, хорошо окрашиваются и видны с помощью светового и электронного микроскопа (рис. 57).

Совокупность всех хромосом клетки или организма называют *кариотипом* (от греч. *karyon* – ядро и *typos* – форма), или *хромосомным набором*. Так, кариотип человека представлен 46 хромосомами, плодовой мушки дрозофилы – 8, одного из видов пшеницы – 28 хромосомами (рис. 58).

КЛЕТОЧНЫЙ ЦИКЛ

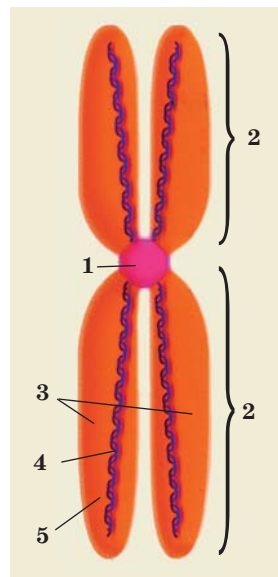
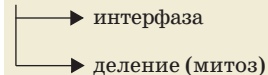


Рис. 56. Схема строения хромосомы после репликации ДНК: 1 – центромера; 2 – плечи хромосомы; 3 – сестринские хроматиды; 4 – молекула ДНК; 5 – белок



Рис. 57. Электронная микрофотография хромосом

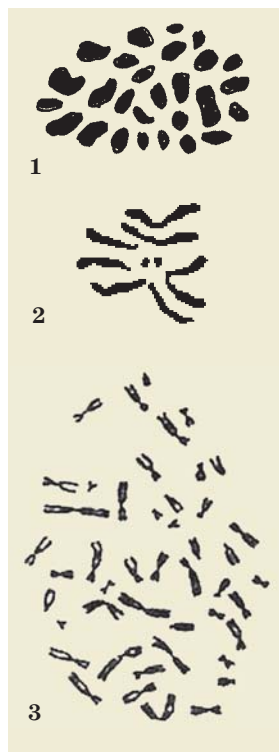


Рис. 58. Хромосомный набор (кариотип) пшеницы (1), дрозофилы (2), человека (3)

МИТОЗ

- профазы
- метафазы
- анафазы
- телофазы

В клетках может содержаться одинарный и удвоенный наборы хромосом. Одинарный набор хромосом называют *гаплоидным*. В некоторых клетках или организмах имеется только такой набор. Например, у зеленых водорослей и мхов набор хромосом гаплоидный. Но у большинства растений и животных набор хромосом в клетках диплоидный.

Удвоенный или *диплоидный* набор хромосом характеризуется наличием парных хромосом, одинаковых по величине, форме и характеру содержащейся в них наследственной информации. Парные хромосомы называют гомологичными. Их центромеры находятся в одних и тех же местах, а гены расположены в одинаковой последовательности. Так, все соматические клетки человека содержат 23 пары хромосом, т. е. 46 хромосом представлены в виде 23 пар. У дрозофилы 8 хромосом образуют 4 пары. Парные гомологичные хромосомы внешне очень похожи. В отличие от соматических клеток, набор хромосом в половых клетках у организмов всегда гаплоидный.

Хромосомный набор принято обозначать латинской буквой *n*. Диплоидный набор соответственно обозначается $2n$, а гаплоидный – n .

Митоз. Способность к делению – важнейшее свойство клетки. В результате деления из одной исходной клетки возникают новые клетки. Наиболее распространенный способ деления клетки – *митоз* (от греч. *mitos* – нить), или *непрямое деление*. В результате его образуются две дочерние клетки с таким же набором хромосом, как и у материнской клетки.

Митоз состоит из четырех последовательных стадий, обеспечивающих распределение генетической информации между дочерними клетками (табл. 8). Перед началом деления каждая хромосома состоит из двух молекул ДНК, образовавшихся в результате редупликации. Хромосомы составляют две сестринские хроматиды. Таким образом, перед началом деления в диплоидной клетке число хромосом составляет $2n$, а количество молекул ДНК в два раза больше – $4c$.

Биологический смысл митоза заключается в поддержании постоянства числа хромосом и идентичности наследственной информации образующихся дочерних клеток и исходной материнской клетки. Митоз

Митоз

Стадии	Происходящие процессы
Профаза 	Молекулы ДНК спирализуются, формируя хромосомы. Сестринские хроматиды соединены друг с другом центромерой. Ядерная мембрана рассасывается, ядрышко распадается. Центриоли расходятся к полюсам, образуя веретено деления. Число хромосом – $2n$, количество ДНК – $4c$
Метафаза 	Хромосомы располагаются в экваториальной плоскости клетки и образуют метафазную пластинку. Нити веретена деления соединяются с центромерами хромосом
Анафаза 	Хромосомы в местах центромеры делятся, сестринские хроматиды расходятся к полюсам клетки и становятся хромосомами. У каждого полюса оказывается такое же количество хромосом, сколько было в исходной клетке. Общее число хромосом в клетке – $4n$, количество ДНК – $4c$
Телофаза 	Формируются новые ядра. Хромосомы деспирализуются, нити веретена деления исчезают, делится все содержимое клетки. В центре клетки образуется мембранная перегородка. Образуются две клетки, идентичные исходной материнской. Число хромосом – $2n$, количество ДНК – $2c$



Рис. 59. Амитоз клеток хрящевой ткани

обеспечивает также процессы роста отдельных органов и всего организма, так как в результате его происходит увеличение количества клеток.

Амитоз. Иногда встречается и другой тип деления клетки – амитоз. Амитоз, или *прямое деление ядра* клетки, происходит без образования хромосом и веретена деления. Ядро при амитозе перешнуровывается перетяжкой, поэтому равноценного распределения генетической информации между дочерними клетками не происходит. В клетке образуется два ядра, а иногда возникают многоядерные клетки. Прямым делением размножаются клетки специализированных тканей многоклеточных организмов, например, роговицы глаза и хрящей (рис. 59). Такое деление встречается у аномальных (раковых) клеток.



Клеточный цикл (жизненный цикл клетки): интерфаза и деление; редупликация (репликация) ДНК; хромосомы, кариотип (хромосомный набор): одинарный (гаплоидный), удвоенный (диплоидный); митоз (непрямое деление), амитоз (прямое деление).



1. Назовите основные периоды клеточного цикла. 2. Какое основное событие происходит в интерфазе? 3. Почему синтез ДНК называют полуконсервативным? 4. Определите последовательность нуклеотидов во второй цепи ДНК, если первая цепь имеет следующую последовательность нуклеотидов: ЦТТААЦАЦГГГЦАТТЦЦГГГЦААТТГ. 5. В кариотипе кроликов насчитывается 44 хромосомы. Сколько хромосом находится у кроликов в соматических и сколько в половых клетках? 6. Охарактеризуйте основные процессы, происходящие в клетке при митозе. Какие структуры в клетке обеспечивают равномерное расхождение хромосом в митозе? 7. Чем амитоз отличается от митоза? Приведите примеры клеток, делящихся амитозом.



Рассмотрите с помощью микроскопа готовый микропрепарат «Митоз в корешке лука». Найдите на нем неделящиеся клетки и клетки на разных стадиях митоза. Каких клеток больше? Объясните, почему. Результаты работы оформите в виде таблицы (в тетради).

Митоз

Стадии митоза	Происходящие процессы	Число хромосом	Количество ДНК

§ 13.

МЕЙОЗ И ОБРАЗОВАНИЕ ГАМЕТ

Рассмотрите рисунки таблицы 9. Чем мейоз отличается от митоза? Какое строение имеют половые клетки у животных? Каков хромосомный набор половых клеток? При образовании каких клеток происходит мейоз у растений?

Кроме митоза и амитоза существует особый тип клеточного деления, при котором происходит уменьшение (редукция) числа хромосом в дочерних клетках по сравнению с материнской. Такое деление называют мейозом. *Мейоз* (от греч. *meiosis* – уменьшение) – деление клетки, при котором ее хромосомный набор уменьшается вдвое. В результате мейоза из диплоидной клетки образуются гаплоидные клетки.

Стадии мейоза. Как и митозу, мейозу предшествует интерфаза, продолжительность которой бывает различной в зависимости от вида организма. В интерфазе также происходит редупликация ДНК, в результате чего каждая хромосома состоит из двух молекул ДНК – двухсестринских хроматид. Кроме того, клетка увеличивается в размерах за счет удвоения количества органоидов. Перед началом деления число хромосом диплоидной клетки равно $2n$, а количество молекул ДНК – $4c$ (также как в митозе).

Для мейоза характерны те же стадии, что и для митоза, но процесс состоит из двух последовательных делений – мейоз I и мейоз II (табл. 9). В результате мейоза образуются не две, а четыре клетки с гаплоидным набором хромосом. Однако, в стадиях мейоза I имеются существенные отличия от митоза. Так, в профазе мейоза I гомологичные хромосомы попарно соединяются – *конъюгируют*. Между одинаковыми генами гомологичных хромосом может происходить обмен – *кроссинговер*. Например, ген *A* с одной гомологичной хромосомой меняется с геном *a* другой гомологичной хромосомы (рис. 60). Это приводит к перекомбинации генов в хромосомах.

Биологический смысл мейоза заключается в уменьшении хромосомного набора и образовании гаплоидных клеток. При половом размножении гаплоидные *гаметы*

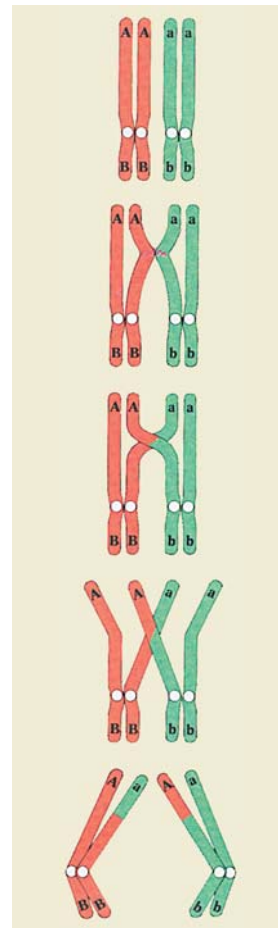
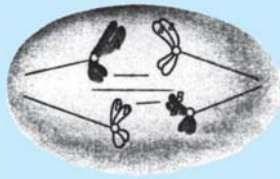
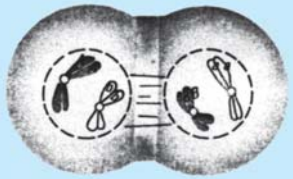
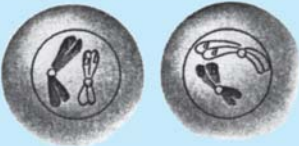
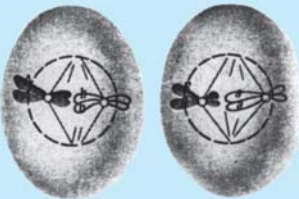
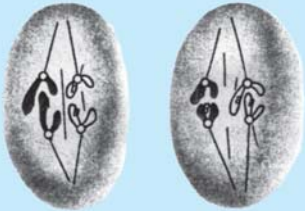
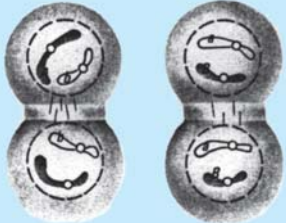


Рис. 60. Конъюгация и кроссинговер между гомологичными хромосомами в мейозе

Мейоз

Стадии	Происходящие процессы
Мейоз I (первое деление)	
Профаза I 	Самая продолжительная стадия. Молекулы ДНК спирализуются, формируются хромосомы. Сестринские хроматиды соединены друг с другом центромерой. Гомологичные хромосомы попарно <i>конъюгируют</i> (соединяются) и происходит <i>перекрест</i> , или <i>кроссинговер</i> – обмен однотипными участками, что приводит к рекомбинации генов в гомологичных хромосомах. Ядерная мембрана рассасывается, ядрышко распадается. Центриоли расходятся к полюсам, образуя веретено деления. Число хромосом – $2n$, количество ДНК – $4c$
Метафаза I 	Гомологичные хромосомы попарно выстраиваются над и под экваториальной плоскостью клетки. Нити веретена деления соединяются с центромерами хромосом
Анафаза I 	К полюсам клетки расходятся гомологичные хромосомы . У каждого полюса оказывается только одна хромосома из пары. Происходит уменьшение числа хромосом вдвое – <i>редукция</i> . Число хромосом в клетке – $2n$, количество ДНК – $4c$
Телофаза I 	Формируются новые ядра. Хромосомы состоят из двух сестринских хроматид, нити веретена деления исчезают, делится все содержимое клетки. Образуются две гаплоидные клетки или ядра. Набор хромосом уменьшается вдвое. Число хромосом – n , количество ДНК – $2c$

Стадии	Происходящие процессы
Интерфаза короткая, или отсутствует. Редупликация ДНК не происходит	
Мейоз II (второе деление, идентично митозу)	
Профаза II 	Молекулы ДНК спирализуются, формируются хромосомы. Сестринские хроматиды соединены друг с другом центромерой. Ядерная мембрана рассасывается, центриоли расходятся к полюсам, образуя веретено деления. Процесс синхронно идет в двух клетках. Число хромосом – n , количество ДНК – $2c$
Метафаза II 	Хромосомы располагаются в экваториальной плоскости клетки. Нити веретена деления соединяются с центромерами хромосом
Анафаза II 	Хромосомы в местах центромеры делятся, сестринские хроматиды расходятся к полюсам клетки и становятся хромосомами. У каждого полюса оказывается такое же количество хромосом, сколько было в исходной клетке. Число хромосом – $2n$, количество ДНК – $2c$
Телофаза II 	Формируются новые ядра. Хромосомы деспирализуются, нити веретена деления исчезают, делится все содержимое клетки. Образуются четыре гаплоидные клетки. Количество ДНК в клетке уменьшается вдвое. Число хромосом – n , количество ДНК – c

сливаются, и вновь восстанавливается диплоидный набор хромосом. Мейоз обеспечивает постоянный набор хромосом у вновь образующихся организмов при половом размножении. Кроме того, в мейозе гомологичные хромосомы расходятся случайным образом, независимо от других пар, а также происходит кроссинговер. Это приводит к возникновению новых сочетаний генов в образующихся клетках.

Образование половых клеток у животных. У животных с диплоидным набором хромосом мейоз происходит при образовании половых клеток – *гамет* (от греч. *gamete* – жена, *gametes* – муж). Поэтому половые клетки, образовавшиеся в результате гаметогенеза, содержат гаплоидный набор хромосом. Гаметогенез протекает в три стадии и заканчивается созреванием гамет (рис. 61).

На *стадии размножения* первичные половые клетки с диплоидным набором хромосом делятся митозом, что способствует увеличению их количества. *Стадия*

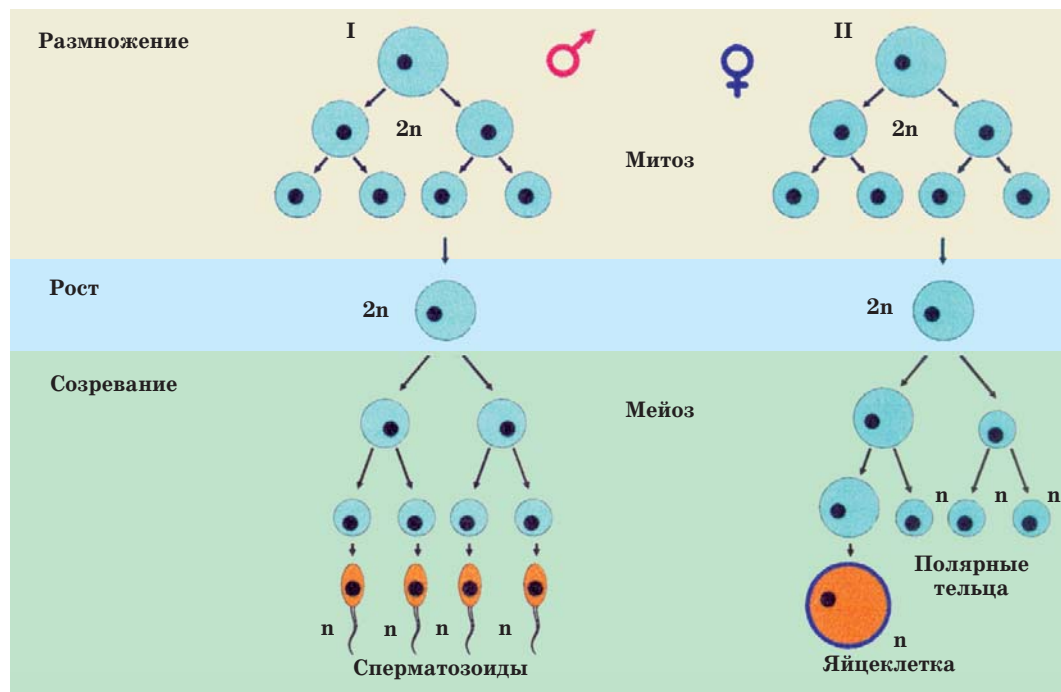


Рис. 61. Гаметогенез у животных: I – сперматогенез; II – оогенез

роста характеризуется интенсивным ростом клетки и запасанием питательных веществ. Он соответствует интерфазе перед мейозом. *Стадия созревания* – это мейоз, в результате которого формируются и созревают гаметы – половые клетки.

Сперматогенез (от греч. *sperma* – семя) – процесс образования мужских половых клеток – сперматозоидов (рис. 61, I). В результате мейоза из исходной клетки образуются четыре одинаковые гаметы с гаплоидным набором хромосом. Все четыре клетки претерпевают сложную клеточную дифференцировку и превращаются в четыре сперматозоида.

Оогенез (от греч. *oov* – яйцо) – процесс образования женских половых клеток – яйцеклеток (рис. 61, II). В отличие от сперматогенеза, деление мейоза в оогенезе происходит неравномерно. В результате его из исходной клетки образуется одна крупная клетка – яйцеклетка, в которой находятся все питательные вещества. Кроме того, образуются еще три мелкие клетки – *полярные тельца*, в которых имеется только ядро. Они служат для равномерного распределения хромосом в мейозе и потом исчезают.

Строение половых клеток животных. У большинства животных женские и мужские гаметы отличаются друг от друга. Рассмотрим их строение на примере млекопитающих.

Сперматозоиды – это небольшие подвижные клетки, состоящие из головки, шейки и хвостика (рис. 62). В головке находится ядро с гаплоидным набором хромосом. На переднем конце располагается специализированный пузырек – акросома, который является производным аппарата Гольджи. Он содержит специальные ферменты, разрушающие оболочку яйцеклетки. В шейке находятся центриоли и многочисленные митохондрии, обеспечивающие энергией сперматозоид при его движении. Хвостик служит для движения сперматозоида и по строению сходен со жгутиком у одноклеточных. Все образующиеся сперматозоиды имеют одинаковую величину.

Яйцеклетка – округлая, крупная, неподвижная клетка, содержащая ядро, все органоиды и много питательных веществ в виде желточных зерен (рис. 63). Яйцеклетка у любого вида животных всегда значи-

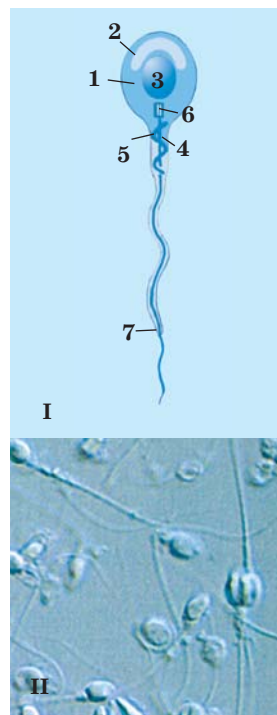


Рис. 62. Сперматозоиды млекопитающих:

I – схема: 1 – головка; 2 – акросома; 3 – ядро; 4 – шейка; 5 – митохондрии; 6 – центриоли; 7 – хвостик; II – фото со светового микроскопа

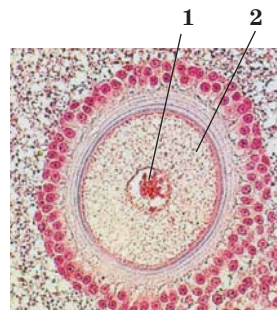


Рис. 63. Яйцеклетка млекопитающих: 1 – ядро; 2 – желточные зерна

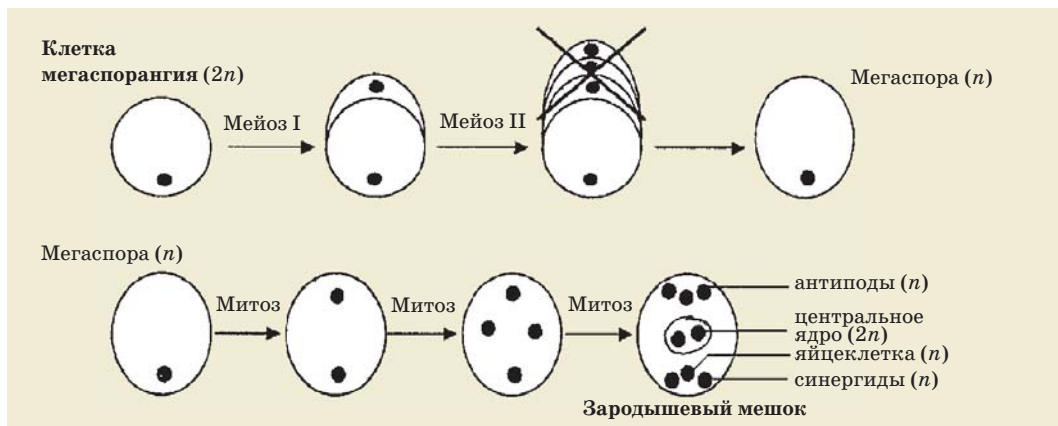


Рис. 64. Развитие мегаспоры и зародышевого мешка у покрытосеменных растений

тельно крупнее, чем его сперматозоиды. Питательные вещества яйцеклетки обеспечивают развитие зародыша на начальной стадии (у рыб, земноводных и млекопитающих) или на всем протяжении всего эмбриогенеза (у пресмыкающихся и птиц).

Мейоз у растений. У растений мейоз происходит не на стадии образования гамет, а на стадии формирования спор, из которых потом развивается гаплоидный организм или группа клеток. В них в результате митоза формируются гаметы. Рассмотрим развитие спор и гамет на примере покрытосеменных растений.

Взрослое цветковое растение имеет диплоидный набор хромосом. В пестике цветка из спорогенной ткани в результате мейоза образуются четыре гаплоидные споры, причем одна из них крупная – *мегаспора* и три более мелкие споры (рис. 64). Мелкие споры отмирают, а ядро мегаспоры трижды делится митозом, формируя восьмиядерный *зародышевый мешок*. В нем развивается одно крупное ядро – яйцеклетка, два ядра – синергиды и три – ядра-антиподы. В центре зародышевого мешка находится центральное ядро, образовавшееся в результате слияния двух гаплоидных ядер.

В тычинках цветка из спорогенной ткани в результате мейоза образуется много мелких гаплоидных *микроспор* (рис. 65). Каждая микроспора делится митозом и образует вегетативную и генеративную клетку – пыльцевое зерно. При прорастании пыльцевого

ЗАРОДЫШЕВЫЙ МЕШОК

- яйцеклетка
- синергиды
- центральное ядро
- антиподы

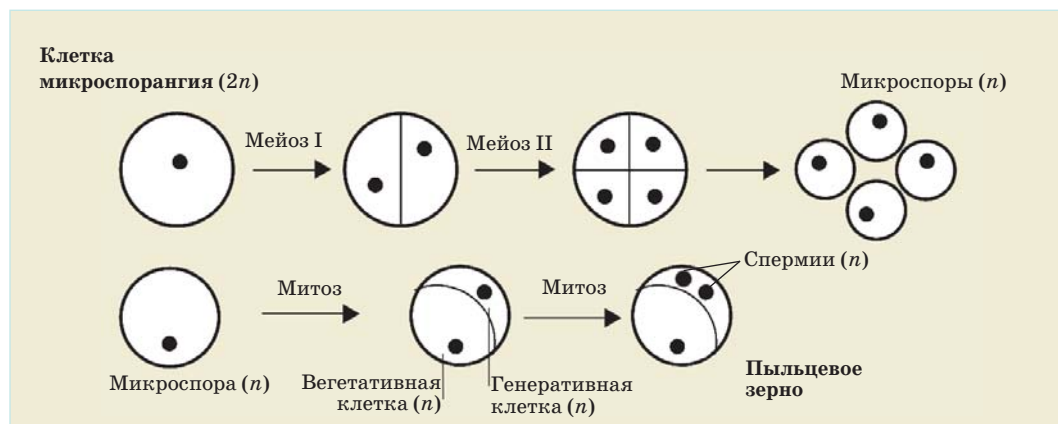


Рис. 65. Развитие микроспор и пыльцевых зерен у покрытосеменных растений

зерна, попавшего на рыльце пестика цветка в результате опыления, генеративная клетка делится еще раз и дает начало двум мужским гаметам – *спермиям*.



Мейоз, конъюгация и перекрест (кроссинговер) хромосом, гаметы; гаметогенез: сперматогенез, оогенез; стадии гаметогенеза: размножения, роста, созревания; полярные тельца; сперматозоид, акросома; яйцеклетка; мегаспора, зародышевый мешок; микроспоры, спермии.



1. Какой тип клеточного деления лежит в основе полового размножения? Какие клетки образуются в результате такого деления? 2. Объясните биологический смысл мейоза. 3. Что такое гаметогенез? Какие стадии в нем выделяют? 4. Чем сперматогенез отличается от оогенеза? В чем биологический смысл таких различий? 5. Опишите строение сперматозоида и яйцеклетки млекопитающих. В чем биологический смысл различий в строении половых клеток? 6. В чем особенности развития спор и гамет у покрытосеменных растений? Опишите процессы развития зародышевого мешка и пыльцевого зерна. Сравните между собой митоз и мейоз. Заполните таблицу (в тетради).

Митоз и мейоз

Параметры для сравнения	Митоз	Мейоз
Число делений		
Процессы в интерфазе		
Конъюгация и кроссинговер хромосом		
Количество дочерних клеток		
Хромосомный набор дочерних клеток		
Результат деления		

§ 14.

НЕКЛЕТОЧНЫЕ ФОРМЫ ЖИЗНИ – ВИРУСЫ

Рассмотрите рисунки 67–71. Какие черты строения и жизнедеятельности отличают вирусы от клеточных организмов?

Кроме организмов, имеющих клеточное строение, существуют и неклеточные формы жизни – *вирусы* (от лат. *virus* – яд). Они имеют свойства, которые позволяют считать их живыми существами, но могут рассматриваться и как гигантские молекулы нуклеиновых кислот, покрытые белковой оболочкой. Вирусы обладают наследственностью и изменчивостью. Но в то же время они не способны к самостоятельному обмену веществ и размножению. Вирусы представляют собой переходную группу между живой и неживой природой, выделяемую в царство.

Открытие вирусов. Вирусы были открыты в 1892 г. русским ученым Д.И. Ивановским (рис. 66). Он изучал мозаичную болезнь табака и определил, что ее возбудитель способен проходить через фильтры, задерживающие бактерии. Позднее эти результаты были подтверждены голландским ученым М. Бейеринком, предложившим для обозначения небактериального инфекционного начала термин «вирус». Вирусы настолько малы, что не видны в световой микроскоп. Поэтому до появления электронного микроскопа их природа оставалась неясной. Активное изучение вирусов и развитие *вирусологии* – науки о вирусах – началось лишь во второй половине XX в.

Строение и жизнедеятельность вирусов. Для вирусов характерны следующие признаки.

1. Вирусы очень малы и различимы только в электронный микроскоп.
2. Вирусы можно рассматривать как генетические элементы (ДНК или РНК), одетые в защитную белковую или белково-липидную оболочку.
3. Вирусы могут существовать только внутри клетки другого организма. Вне клетки они инертны, способны кристаллизоваться подобно неживому веществу, сохраняя при этом свои свойства.



Рис. 66. Дмитрий Иосифович Ивановский (1864–1920)



Рис. 67. Вирус табачной мозаики (ВТМ): 1 – растение табака, пораженное вирусом; 2 – электронная микрофотография вируса; 3 – схема строения вируса

4. Жизнедеятельность вирусов приводит к гибели клетки-хозяина. При внедрении в клетку вирус начинает размножаться, подавляя и разрушая все ее органеллы.

Вирусы имеют простое строение (рис. 67). Отдельные частицы вирусов – *вирионы* – состоят из нуклеиновой кислоты и белков. Генетический аппарат вирусов может быть представлен как молекулой ДНК, так и РНК. Нуклеиновая кислота составляет сердцевину вируса и защищена белковой оболочкой, которая называется *капсидом* (от лат. *capsa* –местилище, ящик). Форма вирусов очень разнообразна. Среди них встречаются многогранники: икосаэдр (вирус полиомиелита), палочковидная (вирус табачной мозаики), булавовидная (бактериофаги), неправильно овальная форма (вирус гриппа). По размерам они (вирусы) мельче, чем клетки прокариот и эукариот (рис. 68).

Вирусы вызывают различные заболевания у растений, животных и человека. К ним относят вирусы табачной мозаики, пестролепестности тюльпана, вирусы гриппа, кори, оспы, полиомиелита и др. В бактериальных клетках паразитируют вирусы-бактериофаги. В настоящее время известно, что вирусы могут длительное время сохраняться в организме, не вызывая заболевания. Более того, установлено, что они выполняют важную роль в переносе генетической информации между клетками, а также между организмами.

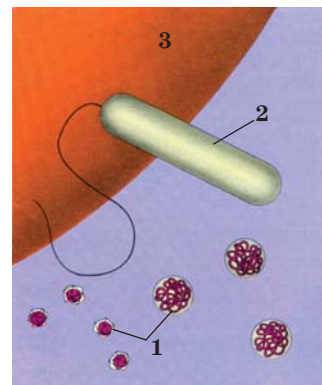


Рис. 68. Сравнительные размеры вирусов (1), прокариотной (2) и эукариотной клеток (3)

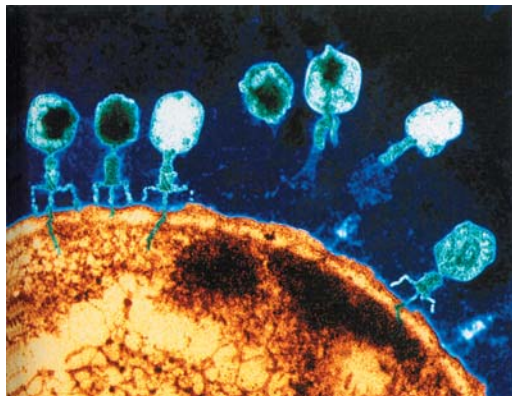


Рис. 69. Бактериофаги на поверхности бактериальной клетки (электронная микрофотография)

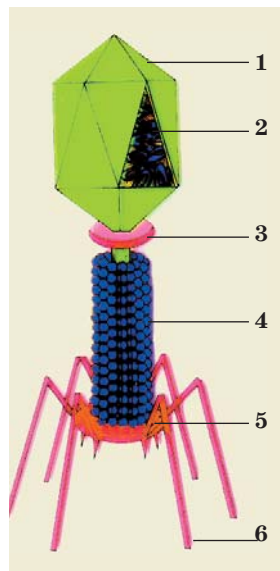


Рис. 70. Строение бактериофага: 1 – белковая капсула; 2 – ДНК вируса; 3 – воротничок; 4 – хвостовой чехол; 5 – базальная пластинка с шипами; 6 – хвостовые нити

Бактериофаги. *Бактериофаги* – это вирусы, поражающие клетки бактерий (рис. 69). Тело бактериофага состоит из белковой головки, в центре которой находится вирусная ДНК, и хвоста. На конце хвоста располагаются базальная пластинка с шипами и хвостовые нити (рис. 70). С их помощью вирус входит в контакт с рецепторными участками на поверхности бактериальной клетки и прикрепляется к ней. Вирус содержит фермент, разрушающий бактериальную стенку. По хвостовому каналу ДНК вируса впрыскивается в клетку бактерии и встраивается в бактериаль-

ную ДНК. При этом подавляется синтез бактериальных белков, вместо которых синтезируются ДНК, РНК и белки вируса. В клетке происходит сборка новых вирионов, которые покидают погибшую бактерию и внедряются в новые бактериальные клетки. Бактериофаги могут использоваться как лекарства против возбудителей инфекционных заболеваний (холеры, брюшного тифа).

ВИЧ. *Вирус иммунодефицита человека (ВИЧ)* вызывает заболевание – синдром приобретенного иммунодефицита (СПИД). Генетический материал ВИЧ представлен молекулами РНК (рис. 71). Наружная белково-липидная мембрана, позаимствованная от клетки-хозяина, пронизана собственными вирусными белками. Они играют важную роль в проникновении вируса в белые клетки крови – лейкоциты, отвечающие за выработку иммунитета в организме человека. Под мембраной вируса располагается белковый капсид, внутри которого находится сердцевина вируса с молекулами РНК и ферментами.

Процесс поражения лейкоцитов вирусом протекает следующим образом. На поверхности лейкоцитов имеются специфические белки-рецепторы, способные связываться с наружными белками вируса (рис. 72). При контакте с ними белок вируса выдергивается и освобождается «острие» – другой белок, повреждающий плазматическую мембрану лейкоцита. Вирусная мембрана сливается с клеточной, и содержимое вируса

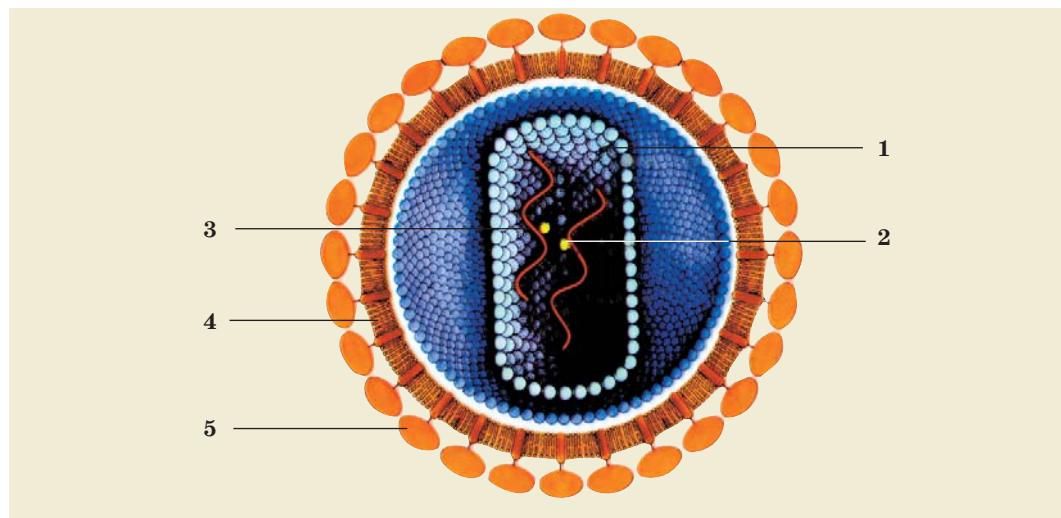


Рис. 71. Вирус иммунодефицита человека (ВИЧ): 1 – белковая капсула; 2 – молекулы фермента; 3 – РНК; 4 – липидная мембрана; 5 – белки мембраны

попадает внутрь лейкоцита. После проникновения вируса с помощью ферментов на матрице вирусной РНК синтезируется вначале одна цепь вирусной ДНК, а затем в процессе репликации вторая цепь. Вирусная ДНК замыкается в кольцо и встраивается в хромосомы лейкоцита. На матрице вирусной ДНК начинаются процессы транскрипции, синтезируются вирусные РНК, а далее и белки. Происходит сборка новых вирусных частиц и выход из клетки путем отпочковывания от клеточной мембраны, причем, часть клеточной мембраны становится мембраной вируса. Лейкоцит при этом погибает, а новые вирусы заражают другие лейкоциты. Снижение в результате этого общего количества лейкоцитов в крови – основная причина развития у человека, инфицированного ВИЧ, заболевания СПИД.

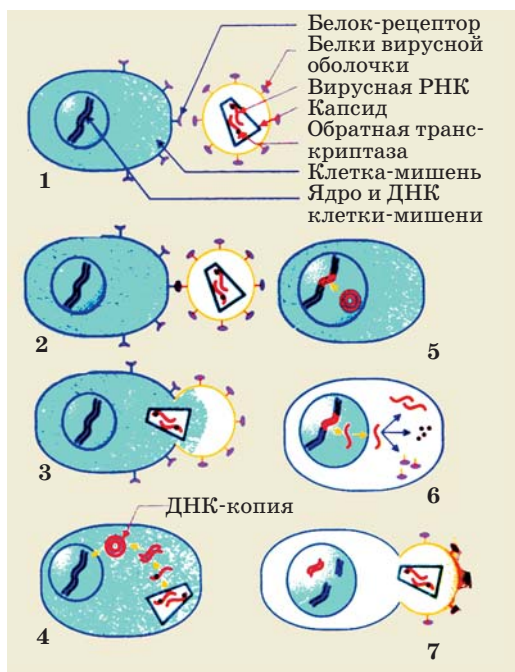


Рис. 72. Жизненный цикл ВИЧ

Вирусы способны размножаться только в клетке-хозяине, используя для этого ее генетический материал и процессы. Чаще всего клетка при этом погибает. Однако иногда вирус может включаться в хромосому клетки, не вызывая ее гибели, реплицируясь вместе с ее генетическим материалом. В этом случае клетка будет передавать вирусную ДНК при делении дочерним клеткам. Итогом этого станет нарушение клеточного деления, в результате чего в организме появятся аномальные клетки. Например, такие процессы происходят при внедрении в клетки организма *опухолевых*, или *онкогенных*, *вирусов*. Непрерывный синтез вирусных белков превращает нормальные клетки в раковые. Они растут и делятся значительно быстрее, чем здоровые клетки окружающих тканей, что приводит к развитию опухолей в жизненно важных органах и гибели в результате этого всего организма. Изучение онкогенных вирусов дает возможность ученым раскрыть природу раковых заболеваний и вести поиск эффективных мер их профилактики и лечения.



Вирус, вирусология, вирион, капсид, бактериофаг, вирус иммунодефицита человека (ВИЧ), опухолевые (онкогенные) вирусы.

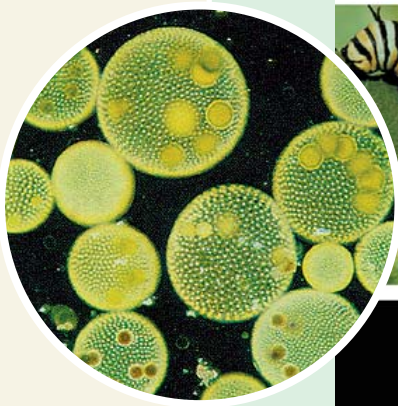


1. Кем и когда были открыты вирусы? Почему некоторое время невозможно было выяснить природу вирусов? 2. Приведите примеры заболеваний, вызываемых вирусами. 3. Чем по строению и жизнедеятельности вирусы отличаются от клеток? 4. Какими молекулами представлен генетический аппарат вирусов? 5. Как происходит размножение бактериофага и ВИЧ в клетке-хозяине? 6. Почему ДНК вирусов могут длительное время сохраняться в клетке-хозяине и передаваться дочерним клеткам в процессе деления?



Возбудитель СПИДа – ВИЧ в настоящее время выделен практически из всех физиологических жидкостей организма человека: из плазмы крови, спермы, слюны, материнского молока, спинно-мозговой жидкости, слез. Однако концентрация вирусных частиц в этих жидкостях различна. Поэтому наиболее вероятными путями передачи смертельно опасной инфекции являются: 1) донорские органы, ткани, плазма крови, костный мозг, сухожилия; 2) загрязненные медицинские инструменты и оборудование; 3) половые контакты; 4) «вертикальный» путь мать – ребенок (внутриутробно, при родах, при вскармливании грудным молоком).

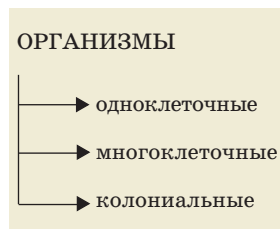
СТРОЕНИЕ И ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОРГАНИЗМОВ



§ 15.

ОРГАНИЗМ КАК БИОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Рассмотрите рисунки 73–76. Чем сходны и чем различаются изображенные на рисунках организмы? Чем характеризуются биосистемы организменного уровня организации. Какие процессы в них происходят?



Организм (от лат. *organizo* – устраиваю, придаю стройный вид) – биологическая система, состоящая из взаимосвязанных частей, работающих как целое. Он выступает основным носителем жизни, реально существующей в природе ее единицей. Организму присущи питание и пищеварение, дыхание, обмен веществ, выделение, раздражимость, координация, рост, размножение, наследственность и изменчивость, а также приспособление к условиям окружающей среды.

Структурные части организмов. Организмы, обитающие на Земле, многообразны по строению: одноклеточные, многоклеточные, колониальные. Помимо организмов, имеющих клеточное строение, существуют и неклеточные формы жизни – вирусы, проявляющие одновременно свойства живой и неживой природы. Рассмотрим организацию клеточных организмов, как наиболее распространенных на Земле.

Самые простые формы организмов – *одноклеточные* (рис. 73). К ним относят бактерий, некоторые водоросли, простейших и некоторые грибы, например, дрожжи. Отличительная особенность одноклеточных – достаточно простое строение тела, образованное одной клеткой, обладающей всеми основными признаками самостоятельного организма. Структурные части одноклеточного организма – *органеллы* (от лат. *organella* – уменьшительное от органа, т.е. маленькие органы). Так, у амебы обыкновенной органеллы движения – ложноножки – участвуют в передвижении и захвате пищи; пищеварительные вакуоли – органеллы пищеварения – осуществляют переваривание пищи; сократительная вакуоль – органелла выделения – выводит из клетки ненужные конечные продукты обмена веществ, избыток воды и др.

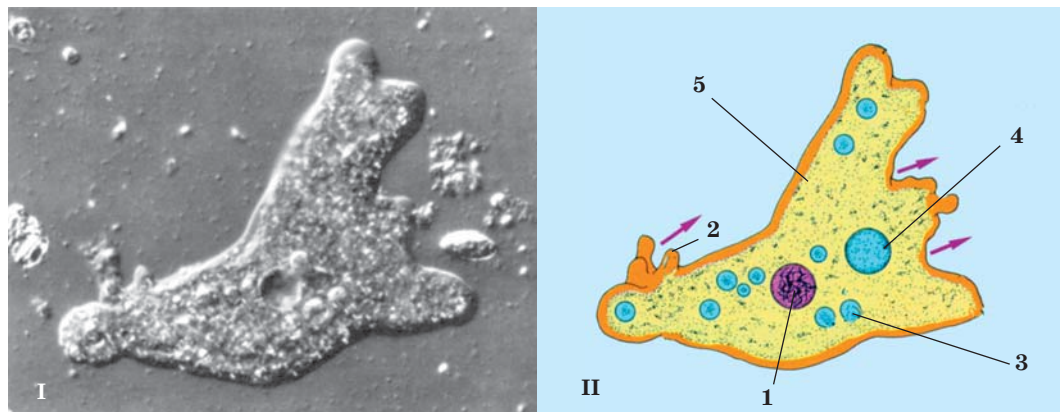


Рис. 73. Амеба обыкновенная: I – микрофотография; II – схема строения: 1 – ядро; 2 – ложноножки; 3 – пищеварительные вакуоли; 4 – сократительная вакуоль; 5 – цитоплазма

Многоклеточные организмы устроены сложнее. Их тело состоит из разнообразных частей: клеток, тканей, органов, объединенных в системы (рис. 74). Вне организма его части существовать не могут, но организм способен обходиться без некоторых частей, например, без отдельных органов или клеток. Так же как и одноклеточным, многоклеточным организмам присущи питание и пищеварение, дыхание, транспорт веществ, выделение, раздражимость, рост, размножение, изменчивость и приспособленность к окружающей среде. Однако в отличие от одноклеточных, у которых процессы жизнедеятельности сосредоточены в одной клетке, у многоклеточных они распределены между клетками, тканями, органами и системами органов. Например, у высших растений корневое питание, т.е. поглощение из почвы воды с минеральными веществами осуществляется клетками кожицы корня с корневыми волосками, а фотосинтез – клетками ассимиляционной ткани, содержащей хлоропласты и расположенной главным образом в листьях растения.

У многоклеточных животных организмов отдельные части тела также специализированы по выполняемым функциям. Например, покровная система органов позвоночных животных, состоящая из кожи и ее производных, обеспечивает защиту организма от высыхания, резких колебаний температуры и от проникнове-

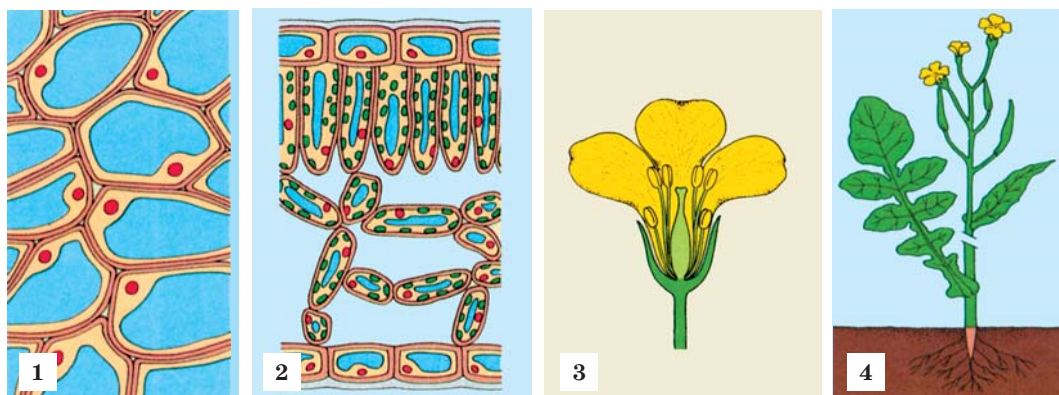


Рис. 74. Структурные части многоклеточного организма: 1 – клетки; 2 – ткани; 3 – орган; 4 – системы органов растительного организма (побеговая и корневая системы)

ния во внутреннюю среду вредных микроорганизмов. Пищеварительная система, представленная пищеварительным каналом и пищеварительными железами осуществляет механическую, химическую обработку пищи и всасывание питательных веществ.

Колониальные организмы представляют собой группы одноклеточных или многоклеточных особей, объединенные для совместного существования. Примером колонии, состоящей из одинаковых клеток, служит водоросль вольвокс (рис. 75). Жгутики клеток обеспечивают передвижение колонии, хроматофоры клеток – питание при помощи фотосинтеза, репродуктивные клетки отвечают за размножение. Нити цитоплазмы соединяют клетки вольвокса между собой в единое целое – колониальный организм.

Организм как единое целое. Организм отличается от слагающих его частей не просто организацией и наличием структуры, т.е. связи, но и качественно новыми свойствами. Существовая в постоянно изменяющихся условиях окружающей среды, организм вынужден направлять работу образующих его частей на удовлетворение целого ряда жизненно важных потребностей, например, получения воды, кислорода, питательных веществ и др. Следовательно, целостность организма обеспечивается согласованной работой образующих его частей, направленной на выполнение общих для организма жизненных функций.

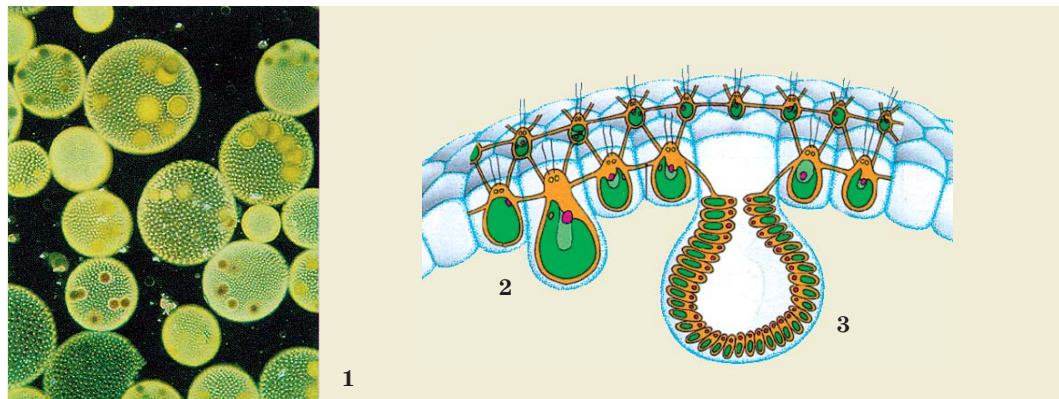


Рис. 75. Структурные части колониального организма (вольвокс): 1 – внешний вид колоний; 2 – отдельные клетки; 3 – группы репродуктивных клеток, отвечающих за размножение

Если части организма отвечают за одинаковые функции и имеют при этом общее происхождение и сходное строение, то их называют *системами органов* (рис. 76). При одинаковых функциях, но разном происхождении и строении, объединение частей организма называют *аппаратом*. Например, у большинства наземных растений в коже листьев имеется устьичный аппарат, регулирующий испарение воды (рис. 77). Другой пример: в дыхательной системе наземных позвоночных животных (и у человека) есть голосовой аппарат, образованный голосовыми связками, голосовой щелью и мышцами гортани. Кроме того, у человека в формировании речи участвуют зубы, язык и нёбо.

Для совместной работы образующих организм частей необходим *гомеостаз* (от греч. *homoios* – одинаковый и *stasis* – состояние) – поддержание относительно постоянства организации и свойств организма. Это постоянство внутренней среды организма – необходимое условие нормальной жизнедеятельности его частей (клеток, тканей, органов и их систем).

► Под действием различных условий окружающей среды состав и свойства организма могут изменяться. Тогда в нем возникают реакции, направленные на восстановление гомеостаза. Например, усиленная мышечная работа при беге вызывает повышение в крови организма содержания углекислого газа и снижение кислорода. Для восстановления исходной concentra-

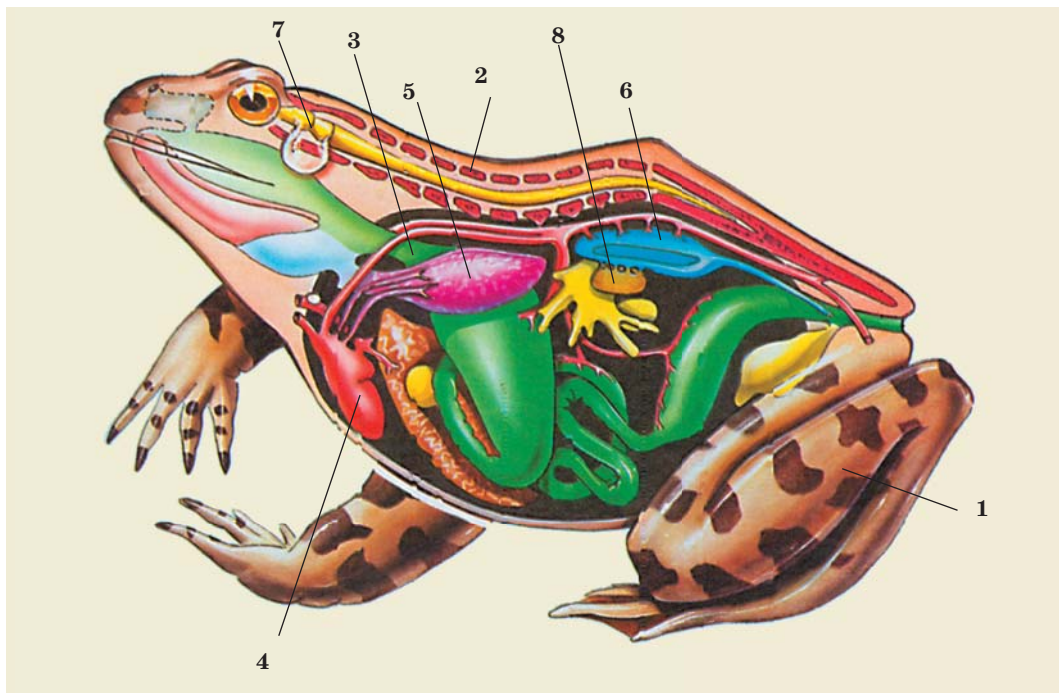


Рис. 76. Системы органов животного организма (травяная лягушка): 1 – покровная (кожа); 2 – опорно-двигательная (скелет, мускулатура); 3 – пищеварительная (ротовая полость, глотка, пищевод, желудок, кишечник, печень, поджелудочная железа); 4 – кровеносная (сердце, кровеносные сосуды); 5 – дыхательная (легкие); 6 – выделительная (почки, мочеточники); 7 – нервная (головной и спинной мозг, нервы); 8 – половая (половые железы и протоки)

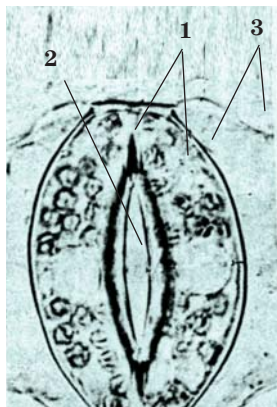


Рис. 77. Устьичный аппарат: 1 – замыкающие клетки; 2 – устьичная щель; 3 – клетки кожицы листа

ции этих газов, организм увеличивает частоту дыхательных движений и сокращений сердца. При этом наблюдаются также изменения в работе опорно-двигательной, нервной, эндокринной и покровной систем органов. Такое временное объединение органов и систем, направленное на достижение необходимого организму положительного результата, называют *функциональной системой* (рис. 78).

Теорию функциональных систем разработал в 1935 г. отечественный ученый Петр Кузьмич Анохин (рис. 79). Согласно его взглядам, функциональная система позволяет организму выбрать цель и подчинить работу всех составляющих его частей достижению этой

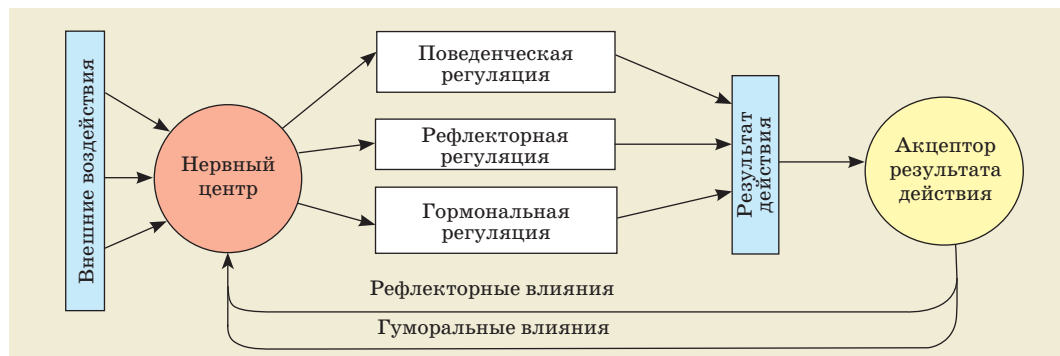


Рис. 78. Общая схема функциональной системы

цели. Обеспечивается это, в первую очередь, управляющей деятельностью нервной и эндокринной систем, регулирующих работу различных частей организма и получающих в результате обратной связи информацию о конечном результате. ◀

Таким образом, *организм* – это целостная биологическая система, состоящая из структурно и функционально взаимосвязанных частей, совершающих непрерывную работу по поддержанию относительного постоянства его организации и свойств (гомеостаза), что служит необходимым условием его существования.



Рис. 79. Петр Кузьмич Анохин (1898–1974)



Организмы: одноклеточные, колониальные и многоклеточные; оргanelлы, система органов, аппарат, гомеостаз, ► функциональная система. ◀



1. Дайте определение организма. Объясните, почему организм считают основным носителем жизни?
2. Из каких структурных частей состоят тела одноклеточных и многоклеточных организмов?
3. Докажите, что состоящая всего лишь из одной клетки амeba и такое многоклеточное животное как лягушка, являются самостоятельными организмами.
4. Каковы отличия колониальных организмов от многоклеточных? Приведите примеры колониальных организмов.
5. Чем организм отличается от образующих его частей?
6. Благодаря чему обеспечивается целостность организма как биологической системы?
7. Что такое гомеостаз?
8. Чем сходны и в чем различны между собой система органов и аппарат?
- 9. Что такое функциональная система? Какое значение для организма она имеет? ◀

§ 16.

ТКАНИ И ОРГАНЫ ОРГАНИЗМОВ

Рассмотрите рисунки 80–85. Чем различаются изображенные на них ткани и органы? Какие функции выполняют ткани и органы организмов?

Несмотря на то, что клетки многоклеточного организма очень разнообразны, среди них можно найти похожие. Такие группы клеток и межклеточного вещества, сходные по строению, происхождению и выполняемым функциям, называют *тканью*. Различные ткани, в свою очередь, образуют органы, которые объединены в системы органов.

Ткани растений. Организм большинства высших растений состоит из пяти типов тканей: образовательных, покровных, проводящих, основных и механических (рис. 80). Среди типов тканей имеются отдельные

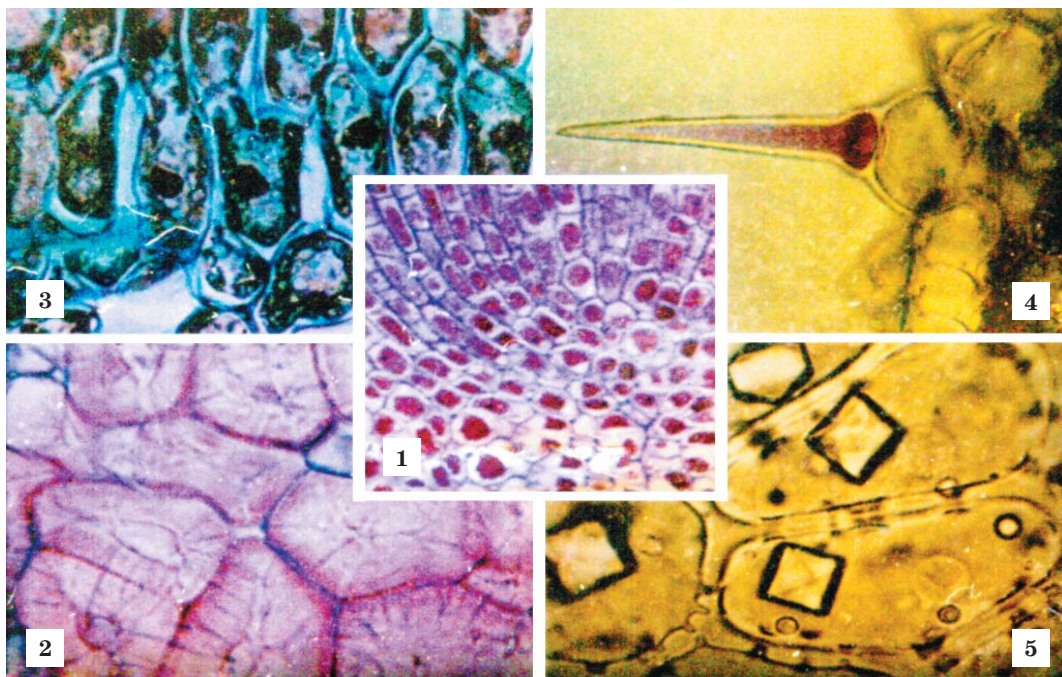


Рис. 80. Некоторые типы и виды растительных тканей: 1 – образовательная; 2 – механическая (каменистые клетки); 3 – основная (ассимиляционная); 4 – покровная; 5 – основная (запасаящая)

их виды, отличающиеся друг от друга местом положения в организме, строением образующих их клеток и выполняемыми функциями.

Образовательные ткани состоят из мелких живых клеток, способных к постоянному и быстрому делению митозом. Различные виды образовательных тканей находятся в точках роста растений: конусе нарастания побега, кончике корня, основании междоузлий стеблей. Кроме того, образовательные ткани располагаются внутри корней и стеблей, обеспечивая рост органов в толщину и заживление ран, образовавшихся при повреждениях. Из образовательных тканей в течение всей жизни растения формируются ткани всех остальных типов.

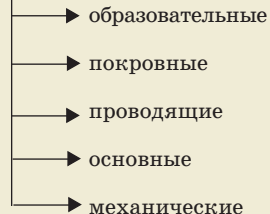
Покровные ткани выполняют функцию защиты и покрывают снаружи органы растений. Эти ткани состоят из плоских, плотно сомкнутых клеток. У молодых стеблей, корней и листьев они представлены живыми клетками *эпидермиса* (кожицы). По мере старения эпидермис на стеблях и корнях заменяется мертвой, многослойной тканью – *пробкой*. Наружные слои пробки, постепенно отмирая, превращаются в *корку*, хорошо заметную, например, на поверхности стволов деревьев.

Проводящие ткани состоят из вытянутых в длину клеток, которые соединяясь друг с другом, обеспечивают проведение воды с растворенными минеральными и органическими веществами. Различают два вида проводящих тканей – *луб* и *древесину*. В состав луба входят ситовидные трубки и клетки-спутницы. Горизонтальные стенки ситовидных трубок имеют множество отверстий, через которые осуществляется транспорт растворов органических веществ, образовавшихся в листьях растения в результате фотосинтеза.

Древесина состоит в основном из сосудов, образованных расположенными друг над другом мертвыми клетками, без внутреннего содержимого. Вертикальные стенки сосудов утолщены и одревеснели, что придает этой ткани прочность. Горизонтальные стенки между клетками разрушены, поэтому сосуд представляет собой трубку. По сосудам передвигаются растворы минеральных веществ от корней – ко всем остальным органам растения.

Кроме проводящих элементов в состав древесины и луба входят волокна и клетки основной (запасяющей) ткани.

РАСТИТЕЛЬНЫЕ ТКАНИ



Основные ткани расположены в растении между покровными и проводящими. Среди основных тканей различают: *запасную* и *ассимиляционную*. Запасная ткань образована живыми клетками, в которых накапливаются питательные вещества. Она находится в сердцевине стебля, клубнях, корневищах, луковицах и плодах. Ассимиляционная ткань содержит живые фотосинтезирующие клетки и расположена в мякоти листьев и зеленых частях стеблей растения.

Механические ткани представлены как живыми, так и мертвыми клетками (волокнами), которые выполняют опорную функцию и образуют каркас растения.

Ткани животных и человека. Все типы тканей организма животных и человека развиваются из зародышевых клеток. Тогда же происходит и их специализация по выполняемым функциям.

В организме животных и человека различают четыре типа тканей: эпителиальные, соединительные, мышечные и нервную (рис. 81). Все типы тканей, кроме нервной, подразделяют на виды.

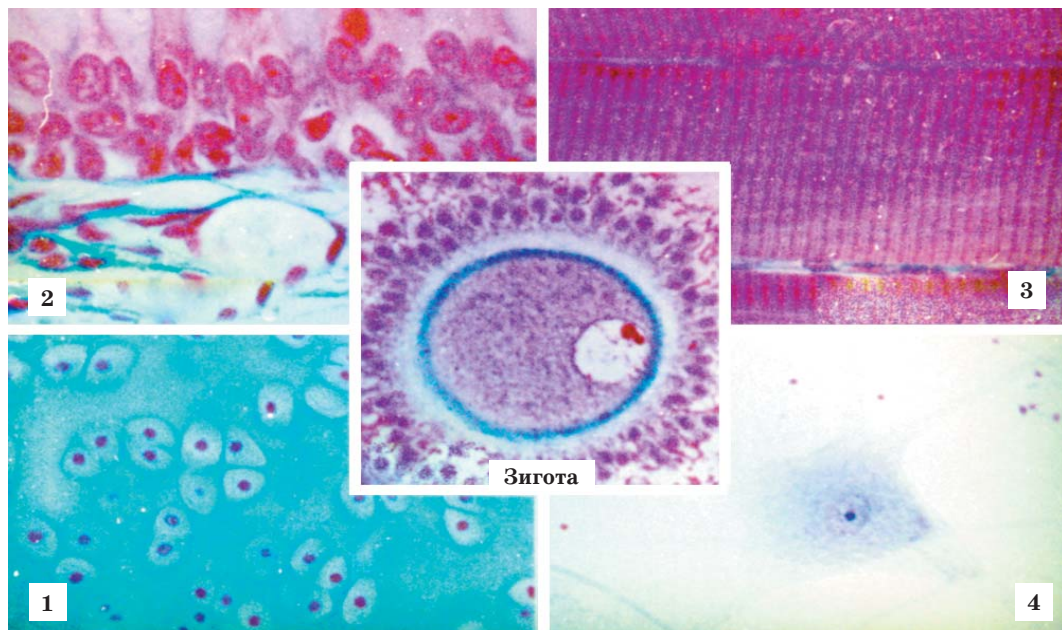


Рис. 81. Некоторые типы и виды животных тканей: 1 – соединительная (хрящевая); 2 – эпителиальная (ресничный эпителий); 3 – мышечная (поперечно-полосатая скелетная); 4 – нервная

Эпителиальные ткани представлены плотно прилегающими друг к другу клетками, межклеточное вещество здесь практически отсутствует. Они покрывают поверхность тела, выстилают внутренние полости. Эпителиальные ткани входят также в состав желез внутренней и внешней секреции. Покровный эпителий выполняет защитную функцию и обеспечивает обмен между органами и тканями в организме. Железистый эпителий, из которого состоят железы внутренней и внешней секреции, обеспечивает секреторную функцию, выделяя ферменты и гормоны.

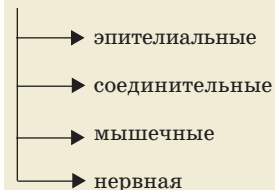
Соединительные ткани образованы клетками и большим количеством межклеточного вещества, которое может быть плотным (кости, хрящи), рыхлым (подкожная клетчатка), волокнистым (сухожилия) и жидким (кровь, лимфа). Эти ткани выполняют опорную, защитную и питательную функции. Соединительные ткани способны заменять поврежденный участок органа. Например, при ранении кожи образуется заживляющий рубец, состоящий в основном из волокнистой соединительной ткани.

Мышечные ткани бывают трех видов: поперечно-полосатая скелетная, гладкая и поперечно-полосатая сердечная. Поперечно-полосатая скелетная и сердечная ткани состоят из вытянутых в длину многоядерных клеток – мышечных волокон с полосатой исчерченностью. Из скелетной мышечной ткани состоят скелетные мышцы, а из сердечной – миокард стенки сердца. Волокна гладкой мышечной ткани одноядерные и имеют веретеновидную форму. Они входят в состав стенок полых внутренних органов, например, желудка, кишечника, мочевого пузыря.

Мышечные ткани обладают сократимостью, которая обусловлена свойствами входящих в их состав белков миозина и актина. Благодаря этому, мышечные волокна способны изменять свою форму, что обеспечивает выполнение мышечными органами и организмом в целом двигательной функции.

Нервная ткань состоит из нервных клеток – нейронов и нейроглии. *Нейроны* имеют звездчатую форму и отходящие отростки – дендриты и аксон. Ветвящиеся дендриты – воспринимающая, а неветвящийся аксон – передающая часть нейрона. По ним нервные

ЖИВОТНЫЕ ТКАНИ



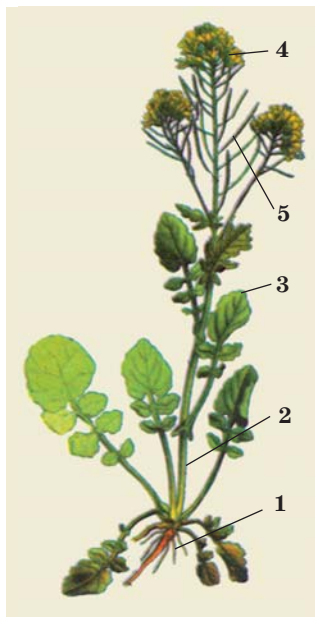


Рис. 82. Органы цветкового растения: 1 – корень; 2 – стебель; 3 – лист; 4 – цветок в соцветии; 5 – плод

импульсы передаются к телу нейрона и от него. Клетки нейроглии округлой формы и плотно окружают нейроны. Они выполняют вспомогательные функции: обеспечивают механическую поддержку, снабжают нейроны питательными веществами.

Нервная ткань обладает возбудимостью и проводимостью, что обеспечивает выполнение жизненно важных функций организма. Чувствительные нейроны воспринимают раздражения из внешней и внутренней сред; двигательные проводят нервные импульсы от мозга к исполнительным органам, а вставочные осуществляют связь между чувствительными и двигательными нейронами.

Органы организмов. *Орган* – часть организма, имеющий определенное строение и форму, выполняющий одну или несколько функций. Органы состоят, как правило, из всех типов и видов тканей.

У большинства многоклеточных организмов различают органы вегетативные и генеративные. Так, *вегетативными органами* у высших растений являются *корень* и *побег* (рис. 82). Они обеспечивают питание, дыхание и рост организма. Корень удерживает растение в почве и всасывает воду с растворенными в ней минеральными веществами. Побег состоит из стебля с листьями и почками. Стебель выносит почки и листья к свету, служит для них опорой и осуществляет транспорт веществ. Листья участвуют в фотосинтезе, испарении воды и дыхании растения.

У животных и человека вегетативными чаще всего называют органы пищеварения, дыхания, кровообращения и выделения (рис. 83). Они обеспечивают основные процессы жизнедеятельности: питание, газообмен, транспорт питательных веществ и выведение вредных продуктов метаболизма из организма.

К *соматическим органам* относят мускулатуру, скелет и кожу. С ними связаны передвижение и защита организма, теплообмен. Деятельность вегетативных и соматических органов регулируется нервной и эндокринной системами, получающими информацию от органов чувств. Поэтому органы этих систем называют *регуляторными*.

Генеративные органы выполняют функцию полового размножения. У цветковых растений к ним относят *цвет-*

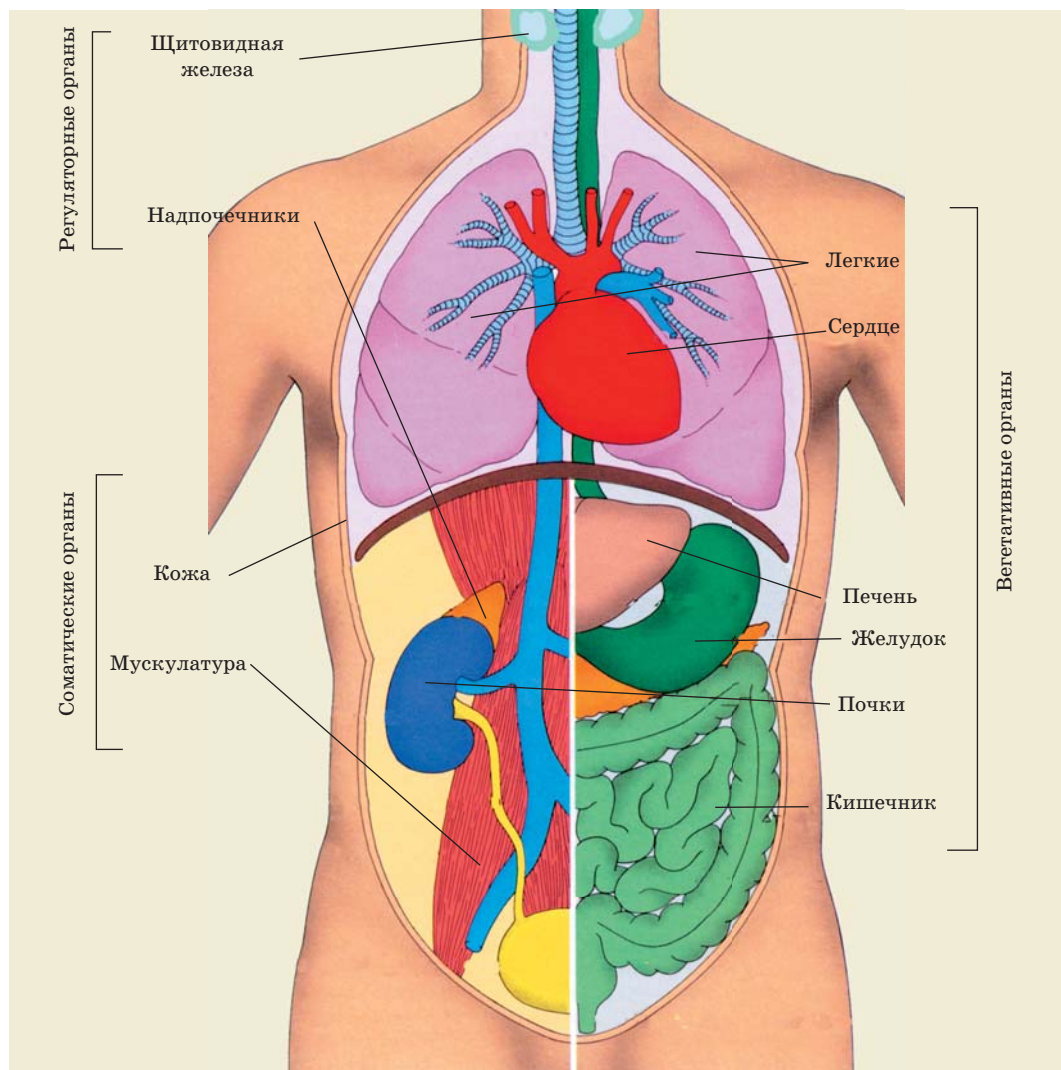


Рис. 83. Некоторые органы тела человека

ток, плод и семя (рис. 84). Цветок состоит из околоцветника, тычинок и пестика, расположенных на расширенной оси – цветоложе. В тычинках образуются пыльцевые зерна, а в пестиках – семязачатки. В семязачатках после опыления происходит оплодотворение, в результате которого развивается семя и плод. Плоды служат

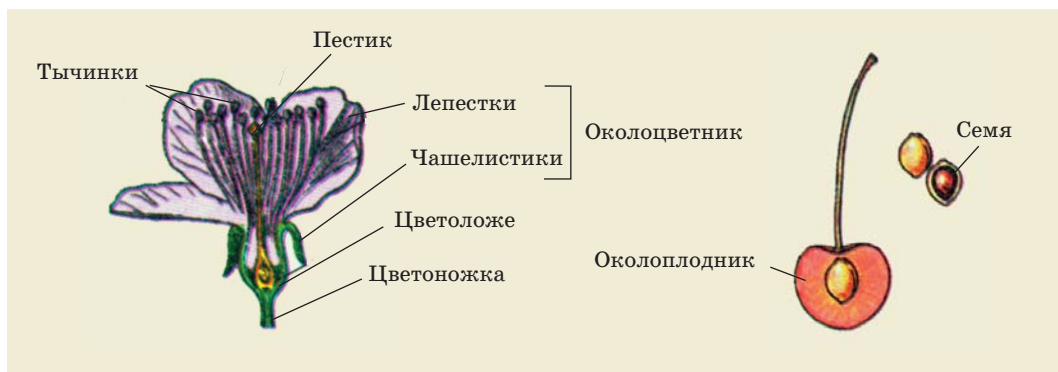


Рис. 84. Генеративные органы цветкового растения (вишня): цветок; плод; семя

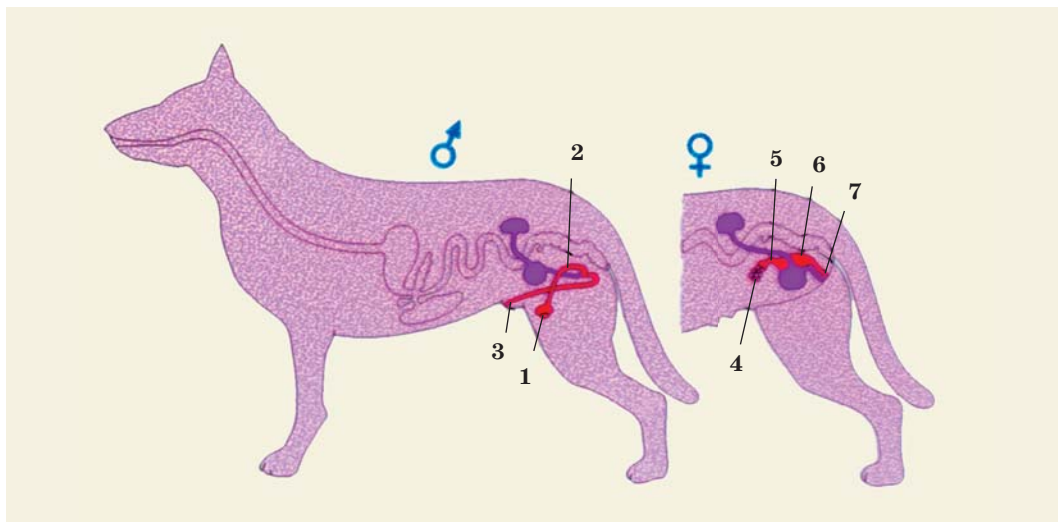


Рис. 85. Генеративные органы млекопитающего (собака): 1 – семенник; 2 – семяпровод; 3 – пенис; 4 – яичник; 5 – яйцевод; 6 – матка; 7 – влагалище

для защиты и распространения семян цветковых растений. Семя чаще всего состоит из семенной кожуры, зародыша и запаса питательных веществ (эндосперма). Семя помогает растению пережить неблагоприятные условия: засуху, низкие температуры и обеспечивает возобновление нового поколения при прорастании.

Генеративными органами у животных и человека являются органы половой системы (рис. 85). К ним от-

носят половые железы, или гонады (семенники и яичники), половые протоки (семяпроводы и яйцеводы) и копулятивные органы. В половых органах развиваются половые клетки – сперматозоиды и яйцеклетки, которые выводятся по половым протокам.

Таким образом, различные ткани и органы, связанные между собой структурно и функционально, придают целостность всему организму, поддерживают его жизнедеятельность как биологической системы.



Ткань, растительные ткани: образовательные, покровные (эпидермис, пробка, корка), проводящие (луб, древесина), основные (запасная, ассимиляционная), механические; животные ткани: эпителиальные, соединительные, мышечные, нервная (нейрон, нейроглия); органы: вегетативные: корень, побег; соматические, регуляторные; генеративные: цветок, плод, семя, половые железы.



1. Дайте определение ткани. Чем клетки ткани отличаются от клетки одноклеточного организма? 2. Какие типы и виды тканей различают у растений и животных? 3. Что такое орган? Приведите примеры вегетативных органов растений и животных. Какие функции они выполняют? 4. Какие органы у животных и человека относят к соматическим, а какие — к регуляторным? Перечислите функции, которые они выполняют. 5. Приведите примеры генеративных органов растений и животных. Какие функции они выполняют?



Рассмотрите микропрепараты растительных и животных тканей. Выясните особенности их строения. Заполните таблицу (в тетради).

Ткани организмов

Название ткани	Особенности строения	Функции



Организм взрослого человека в среднем состоит из 220 млрд клеток, которые подразделяют на 200 различных групп. Среди этого количества, примерно, 20 млрд клеток являются «бессмертными». Это, главным образом, нервные клетки коры головного мозга, существующие на протяжении всей человеческой жизни. Большинство остальных клеток человеческого организма «смертные», они постоянно делятся и замещаются новыми клетками.

§ 17.

ОПОРА ТЕЛА И ДВИЖЕНИЕ ОРГАНИЗМОВ

Рассмотрите рисунки 86–93. Какие органы и их части выполняют функцию опоры у организмов? Чем скелетные системы изображенных на рисунках животных отличаются друг от друга? Какие структуры обеспечивают движение организмов, изображенных на рисунках?

Большинство организмов обладают разного рода *опорными системами*, поддерживающими форму их тела, играющими защитную роль и обеспечивающие движения. У растений, грибов и бактерий такие функции в основном выполняет клеточная оболочка, состоящая из целлюлозы, хитина или муреина соответственно. У животных в роли опоры тела выступают различные скелетные системы.

Каркас растений. Органы растений обладают прочностью. Основу их составляют клетки механической ткани с утолщенными клеточными оболочками, состоящими из целлюлозы. У многих растений оболочки одревесневают, т.е. пропитываются особыми веществами: лигнином, танином, солями кальция и кремнеземом, и образуют твердый *каркас* растения, своеобразный его внутренний «скелет» (рис. 86).

В зеленых стеблях, жилках листьев, плодоножках плодов каркас состоит из неравномерно утолщенных оболочек живых клеток. В древесных стеблях опора растения связана с волокнами луба и древесины – мертвыми клетками с равномерно утолщенными оболочками. В косточках слив, персиков, скорлупе орехов, незрелых плодах груш и айвы твердость обеспечивают каменистые клетки с утолщенными и пропитанными лигнином клеточными оболочками (см. рис. 80, 2).

Скелеты одноклеточных и многоклеточных беспозвоночных животных. У животных бывают внутренний, наружный и гидростатический скелеты. Сложно устроенный *внутренний скелет* имеется у одноклеточных морских простейших – радиолярий (рис. 87, 1). Он представлен скелетными иглами, состоящими из кремнезема, радиально сходящимися к центру клетки.

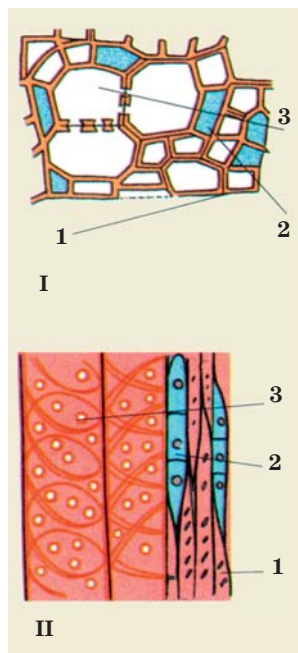


Рис. 86. Компоненты каркаса растений – волокна древесины: I – поперечный срез; II – продольный срез: 1 – древесное волокно; 2 – древесная паренхима; 3 – сосуды

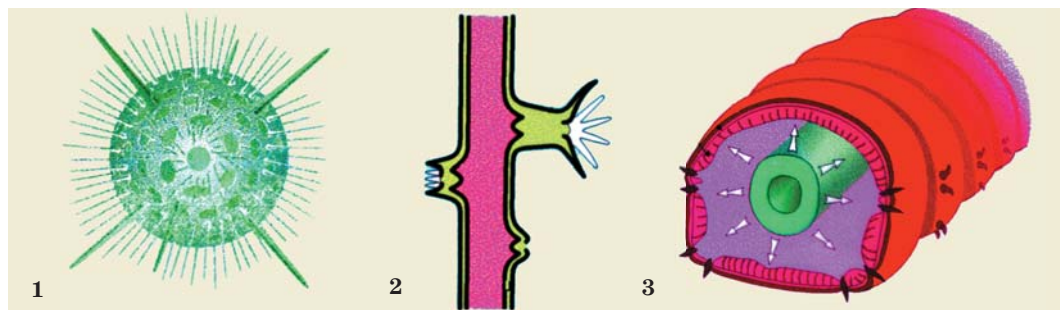


Рис. 87. Внутренние скелеты одноклеточных и беспозвоночных животных: 1 – скелетные иглы у радиолярии; 2 – известковый скелет у колониальных коралловых полипов; 3 – гидростатический скелет у кольчатого (дождевого) червя

Этот скелет выполняет двоякую роль: защищает тело животного от повреждения и способствует его пассивному передвижению в толще воды.

Внутренний известковый скелет имеется у колониальных коралловых полипов (рис. 87, 2). Он состоит из известковых игл, которые формирует каждый отдельный полип из солей морской воды и откладывает в своей подошве, в результате чего внутри колонии, состоящей из множества полипов, образуется плотная и твердая масса, выполняющая роль опоры.

Гидростатический скелет встречается у мягкотелых животных, например, кольчатых червей (рис. 87, 3). У них в полости тела имеется особая полостная жидкость, которая оказывает давление на мышцы животного, соединенные с его кожными покровами. Мышцы способны сокращаться и преодолевать это давление, в результате чего червь передвигается.

Наружный скелет имеют членистоногие. Он вырабатывается клетками кожи и состоит из неклеточного образования – хитина. Поэтому его называют *хитиновым покровом* (рис. 88). В участках наружного скелета членистоногих, которые должны сохранять подвижность, в частности в местах сочленения отделов конечностей, хитиновый покров мягкий. Отделы конечностей соединены при помощи этих сочленений подвижно, подобно рычагам. Их движение обеспечивают мышцы, которые прикрепляются к хитиновому покрову изнутри. Снаружи хитиновый покров имеет водонепроницаемый воскоподобный слой, предохраняющий тело

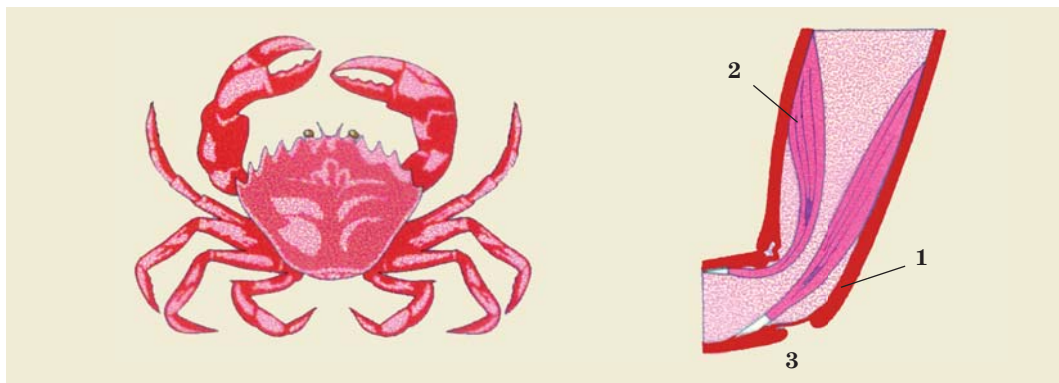


Рис. 88. Наружный скелет (хитиновый покров) членистоногих: 1 — слой хитина; 2 — мышцы; 3 — подвижное сочленение отделов конечности

наземных членистоногих от потери воды. Таким образом, наружный скелет членистоногих (хитиновый покров) выполняет функции опоры и защиты для внутренних органов и защищает организм от обезвоживания.

Скелет позвоночных животных и человека. Внутренний скелет, состоящий из костной, хрящевой и волокнистой соединительной тканей, имеют позвоночные животные, в том числе и человек. Такой скелет образован *костями, хрящами и сухожилиями*.

В химический состав костей входят неорганические вещества (вода, карбонаты и фосфаты кальция) и органические (белок оссеин). Органические вещества придают костям упругость, а неорганические — твердость.

Кости скелета соединены между собой неподвижно — посредством костных швов, полуподвижно или подвижно — с помощью суставов. К костям прикреплены мышцы, которые приводят кости, соединенные суставами, в движение. Таким образом, внутренний скелет позвоночных животных расположен под слоем мышц. От наружного скелета беспозвоночных он отличается еще и тем, что состоит из живой ткани и может расти в теле животного. Поэтому у этих животных нет необходимости в линьках.

Скелет позвоночных, например, человека, состоит из четырех отделов: черепа, осевого скелета, поясов конечностей и свободных конечностей (рис. 89). *Череп*, образованный костями лицевого и мозгового отделов,

СКЕЛЕТЫ ЖИВОТНЫХ

- внутренний
- гидростатический
- наружный

служит для защиты головного мозга, опорой для зубов и мышц головы. *Осевой скелет* состоит из позвоночника и грудной клетки. Он развивается в процессе зародышевого развития из хорды, которая характерна для всего типа Хордовые. У позвоночных животных хорда постепенно замещается позвоночником, и от нее сохраняются лишь остатки между телами позвонков. Однако у некоторых животных этого типа, например, ланцетников, хорда сохраняется в течение всей жизни.

Грудная клетка, образованная ребрами и грудной, защищает расположенные в ней сердце и легкие. Кроме того, движения ребер, осуществляемые при помощи сокращения межреберных мышц, обеспечивают у наземных позвоночных животных дыхательные движения – вдох и выдох.

Наиболее подвижными отделами скелета у представителей позвоночных животных, в том числе и человека, являются *пояса конечностей* и *свободные конечности*, образующие периферический скелет. Например, у млекопитающих верхние конечности соединены с осевым скелетом при помощи парных костей плечевого пояса – лопаток и ключиц, а нижние конечности – посредством парных тазовых костей. К скелету свободных конечностей прикреплены мышцы, обеспечивающие движение в суставах. Таким образом, скелет позвоночных выполняет функции опоры, защиты и движения.

Движение одноклеточных организмов. Перемещение всего организма или его частей в пространстве – один из характерных признаков живого. Оно может совершаться пассивно (с током воды или воздуха), но встречается и активное движение, которое лучше выражено у животных, чем у растений и грибов. Рассмотрим основные виды активного движения организмов.

Движение бактерий, водорослей и простейших обеспечивают мельчайшие нити сократительных белков, расположенные в цитоплазме клеток и в двигательных органоидах – жгутиках и ресничках. Так, у простейших различают три способа движения: *амебoidalное*, *жгутиковое* и *ресничное* (рис. 90).

Движение многоклеточных растений. Хотя у растений нет органов чувств, нервной и мышечной систем, у них отчетливо проявляются изменения направления

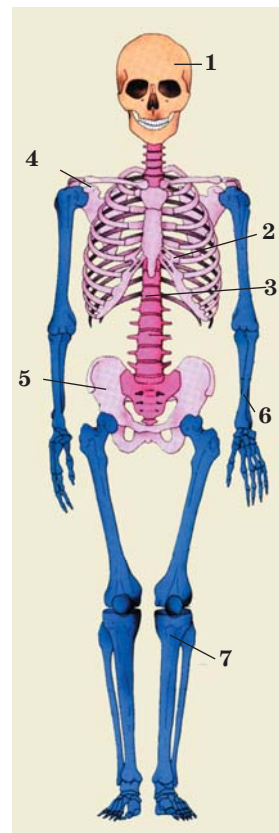


Рис. 89. Скелет человека: 1 – череп; 2 – грудная клетка; 3 – позвоночник; 4 – плечевой пояс; 5 – тазовый пояс; 6 – скелет верхней конечности; 7 – скелет нижней конечности

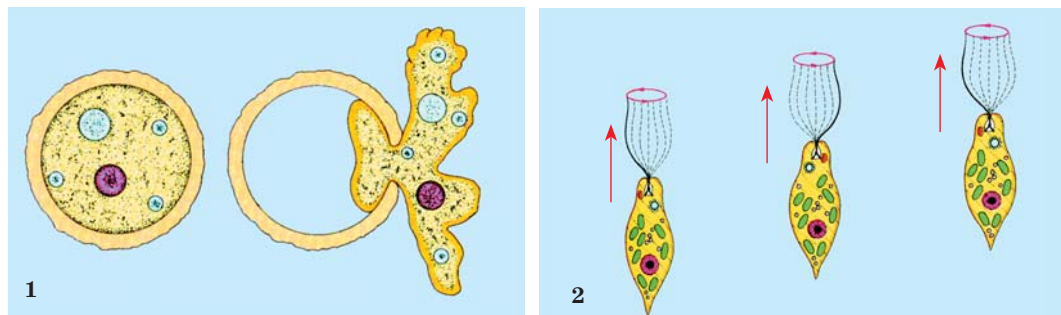


Рис. 90. Некоторые способы движения простейших: 1 – амебоидное (выход амебы из цисты); 2 – жгутиковое — у эвглены зеленой

роста отдельных органов, называемые *тропизмами* – ростовыми движениями. Причиной тропизмов служит направленно действующий раздражитель: свет, влага, химическое вещество и др.

Тропизмы бывают положительными и отрицательными. В зависимости от характера действующего раздражителя встречаются разные виды ростовых движений. Так, побег растения проявляет положительный фототропизм (растет по направлению к свету), а корень – отрицательный фототропизм (рис. 91). Растения реагируют и на гравитационное поле Земли. Например, зародышевый корень семени растет всегда вертикально вниз, в почву (положительный геотропизм), а побег – вертикально вверх от поверхности Земли (отрицательный геотропизм).

Помимо тропизмов у растений наблюдаются движения иного типа – *настии* (от греч. *nastys* – уплотненный). Они возникают при действии ненаправленных раздражителей, например, от сотрясения или при изменении температуры. Так, если прикоснуться к листьям «стыдливой мимозы», они быстро складываются в продольном направлении и опускаются вниз. Цветки тюльпана открываются и закрываются в ответ на потепление или охлаждение воздуха.

Движения многоклеточных животных и человека. Большинство многоклеточных животных передвигаются благодаря *мышечной системе*. У кишечнорастных она представлена сократительными волокнами, расположенными внутри кожно-мышечных и пищеварительно-мышечных клеток. Мышечная



Рис. 91. Тропизмы растений: 1 – фототропизм; 2 – положительный геотропизм у корня и отрицательный геотропизм у побега



Рис. 92. Некоторые скелетные мышцы тела человека

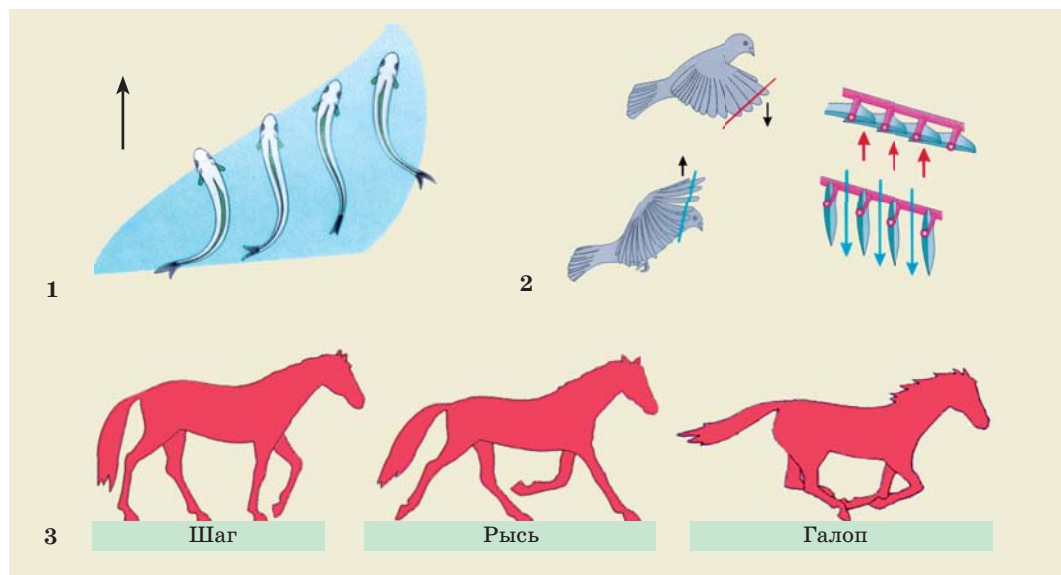
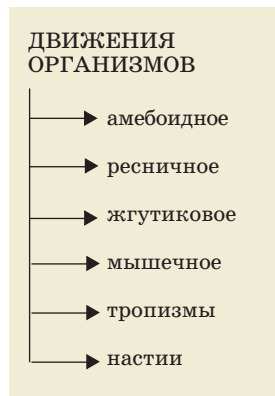


Рис. 93. Основные способы мышечного движения у позвоночных животных: 1 – плавание рыбы; 2 – полет птицы; 3 – ходьба и бег млекопитающего



система у большинства червей образована кожно-мускульным мешком. Мышечная система членистоногих состоит из мышц, прикрепленных к наружному скелету – хитиновому покрову (см. рис. 88). В связи с развитием отдельных мышц членистоногие могут ходить, прыгать, плавать. Одно из наиболее сложных движений – это полет насекомых.

Мышечная система позвоночных составляет в среднем у животных около 30% массы тела (у человека до 44%). Она связана с костями скелета, поэтому называется скелетной мускулатурой (рис. 92). Скелетные мышцы имеют различную форму, расположение в теле и выполняют разные функции.

Мышечное движение у позвоночных животных представлено различными способами плавания, полета и перемещения по суше (рис. 93). Так, плавание у рыб осуществляется благодаря сокращению отдельных сегментов мышц, расположенных вдоль гибкого позвоночника (рис. 93, 1). Сокращения мышц начинаются от головы и распространяются к хвосту. Хвостовой плавник, которым заканчивается тело рыбы, при боко-

вых движениях изгибается и с силой отталкивается от достаточно плотной среды – воды.

Полет у птиц обеспечивается движением крыльев. С костями крыла связаны летательные мышцы, которые осуществляют их поднятие и опускание (рис. 93, 2). При махе вниз, крылья выпрямляются, опахала перьев плотно смыкаются, что обеспечивает максимальное сопротивление воздуху и создает подъемную силу крыла.

Движение по суше наземных четвероногих животных осуществляется с помощью рычажных конечностей (рис. 93, 3). Они перемещаются вперед благодаря сокращению мышц сгибателей и разгибателей. Сокращение мышечных волокон происходит под влиянием нервных импульсов и координируются двигательными центрами, расположенными в больших полушариях головного мозга. Благодаря этому осуществляется согласованная работа разных мышц, обеспечивающих перемещение в пространстве.



Опорные системы: каркас; скелет: наружный, внутренний, гидростатический; кости; движения: амебoidalное, жгутиковое, ресничное; тропизмы, настии; мышечные системы.



1. Какие типы опорных систем встречаются у организмов? 2. Из чего состоит каркас тела у растений? 3. Чем представлены внутренний и наружный скелеты у беспозвоночных животных? 4. Среди членистоногих омары и крабы достигают величины в десятки сантиметров, а почвенные клещи и насекомые – листоблошки имеют микроскопические размеры. Объясните, почему. 5. Чем представлен внутренний скелет у позвоночных животных? Какие функции он выполняет? 6. Какими способами передвигаются простейшие? 7. Что такое тропизмы и настии? Приведите примеры различных тропизмов и настий, встречающихся у растений. 8. Охарактеризуйте основные способы мышечного движения беспозвоночных и позвоночных животных.



На примере скелета млекопитающего (морской свинки, кошки или кролика), выясните, из каких отделов и костей он состоит. Заполните таблицу (в тетради).

Скелет млекопитающего

Отдел скелета	Основные кости отдела	Функции отдела

§ 18.

ПИТАНИЕ И ПИЩЕВАРЕНИЕ У ОРГАНИЗМОВ

Вспомните, чем автотрофное питание организмов отличается от гетеротрофного. Рассмотрите рисунки 94–99. Выясните, какие органы растений и животных обеспечивают их питание.

Питание организмов складывается из поступления в их тело пищевых продуктов, которые перевариваются, всасываются и усваиваются клетками организма. Благодаря питанию организм получает органические соединения, используемые в качестве строительного материала и основного источника энергии. Составной частью питания животных служит *пищеварение* – процесс, при котором в организме происходит обработка пищи и ее превращение в доступные для усвоения питательные вещества.

Питание растений. Все зеленые растения питаются автотрофно благодаря *фотосинтезу* – образованию (синтезу) органического вещества из неорганических (воды и углекислого газа) на свету. Основным продукт фотосинтеза – глюкоза, превращается в сахарозу и крахмал, которые запасаются в различных органах растения, а также используются для роста, размножения, синтеза других органических веществ: жиров, белков, витаминов и гормонов.

Поступление необходимых для фотосинтеза воды и минеральных веществ у водных растений происходит через всю поверхность тела. У большинства наземных растений эту функцию выполняет корень. В его зоне всасывания находятся корневые волоски, которые значительно увеличивают площадь поверхности корня, через которую в растение поступает вода с растворенными в ней минеральными веществами (рис. 94). Поглощение воды обеспечивает корневое давление – сила, с которой корень способен всасывать воду из почвы. Вместе с водой через мембрану корневых волосков поступают и отдельные ионы минеральных веществ, которые также участвуют в фотосинтезе. Химические элементы минеральных веществ – азот, фосфор, сера, калий, магний, кальций и железо – жизненно необходимы растению.

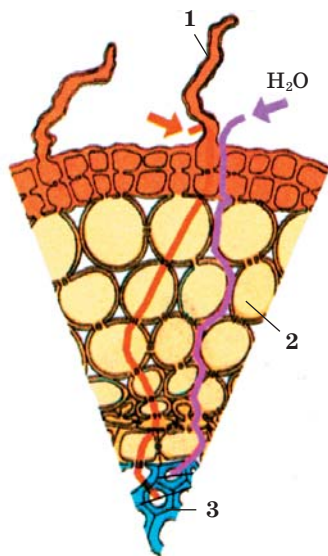


Рис. 94. Строение корня в зоне всасывания:
1 – корневой волосок;
2 – клетки коры корня;
3 – сосуды древесины центрального цилиндра корня

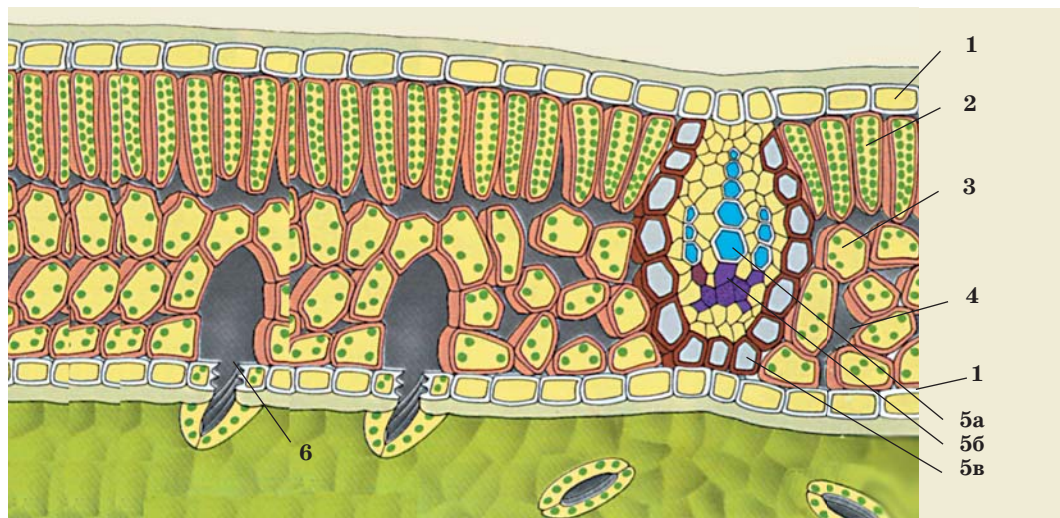


Рис. 95. Внутреннее строение листа: 1 – эпидермис; 2 – столбчатая ткань; 3 – губчатая ткань; 4 – межклетники; 5 – жилка (а – сосуды, б – ситовидные трубки, в – волокна); 6 – устьице

Например, азот влияет на развитие стеблей и листьев растения, калий стимулирует рост корней, а фосфор обеспечивает цветение и плодоношение.

Необходимые для фотосинтеза свет и углекислый газ улавливают *листья*. Внешнее и внутреннее строение листа отражает выполняемую им функцию основного органа фотосинтеза (рис. 95). Углекислый газ поступает внутрь листа через устьица, а вода и минеральные вещества – по сосудам жилок. Органические вещества, образовавшиеся в процессе фотосинтеза в основной ткани листа – это пища растений. Она транспортируется по ситовидным трубкам луба жилок к другим органам и усваивается растительным организмом.

Таким образом, растения благодаря процессу фотосинтеза обеспечивают себя органическими веществами, т.е. питаются *автотрофно* (от греч. *autos* – сам, *trophe* – пища, питание).

► Расщепление органических веществ (пищеварение) у большинства растений внутриклеточное и происходит в лизосомах. Вместе с тем встречаются растения, произрастающие в условиях недостатка минеральных веществ, особенно азотных. Такие растения способны к захватыванию мелких животных и их пе-

ПИТАНИЕ ОРГАНИЗМОВ

- автотрофное
- гетеротрофное

внутриклеточное ←
пищеварение

полостное ←
пищеварение

пристеночное ←
пищеварение

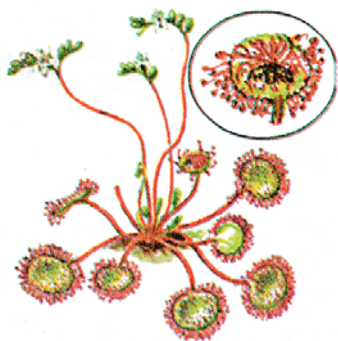


Рис. 96. Насекомоядное растение – росянка

ревариванию после разжижения их тел под действием пищеварительных соков, выделяемых листьями. Так, встречающаяся на торфяных болотах росянка (рис. 96) имеет ловчие листья, выделяющие сок, содержащий пищеварительные ферменты и органические кислоты, способные (вне клеток) переваривать мелких насекомых (комаров, мух, муравьев и др.). ◀

Питание и пищеварение у животных. Все животные питаются *гетеротрофно* (от греч. *geteros* – другой) готовыми органическими веществами, получаемыми с пищей. Способы добывания и поглощения пищи у них разнообразны, но путь превращения питательных веществ в доступную для усвоения форму сходен. Он состоит из процессов механической и химической обработки пищи, всасывания питательных веществ и переноса их в организме ко всем органам.

Одноклеточные животные, или простейшие, питаются мелкими пищевыми частицами, которые заглатывают в клетку целиком (фагоцитоз) и переваривают в *пищеварительных вакуолях*. Такое переваривание пищи называют *внутриклеточным пищеварением*. Например, инфузория-туфелька, питающаяся бактериями, имеет клеточные рот и глотку, на конце которой образуются пищеварительные вакуоли (рис. 97). Благодаря движению цитоплазмы пищеварительные вакуоли перемещаются по клетке, постепенно переваривая питательные вещества. Непереваренные остатки пищи выводятся у инфузории-туфельки наружу через особое отверстие – порошицу.

У кишечнополостных пищеварение начинается в *кишечной полости*. Такое пищеварение называют *полостным (внеклеточным)* (рис. 98). Под действием пищеварительного сока, выделяемого в кишечную полость железистыми клетками, начинается полостное пищеварение. Движение жгутиков пищеварительно-мускульных клеток способствует передвижению пищи в кишечной полости и ее разделению на мелкие частицы. Затем эти частицы захватываются ложноножками пищеварительно-мускульных клеток, где происходит их окончательное переваривание. Таким образом, у пресноводной гидры полостное пищеварение сменяется внутриклеточным. Непереваренные остатки пищи удаляются наружу через ротовое отверстие.

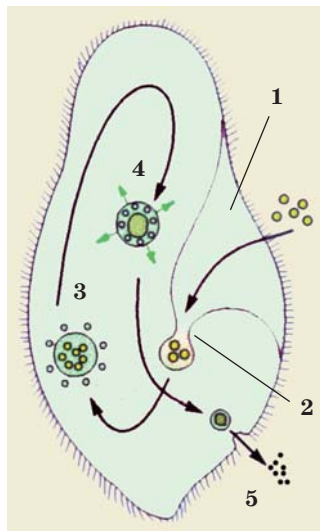


Рис. 97. Органеллы пищеварения инфузории-туфельки: 1 – клеточный рот; 2 – клеточная глотка; 3 – пищеварительные вакуоли; 4 – всасывания питательных веществ; 5 – порошица

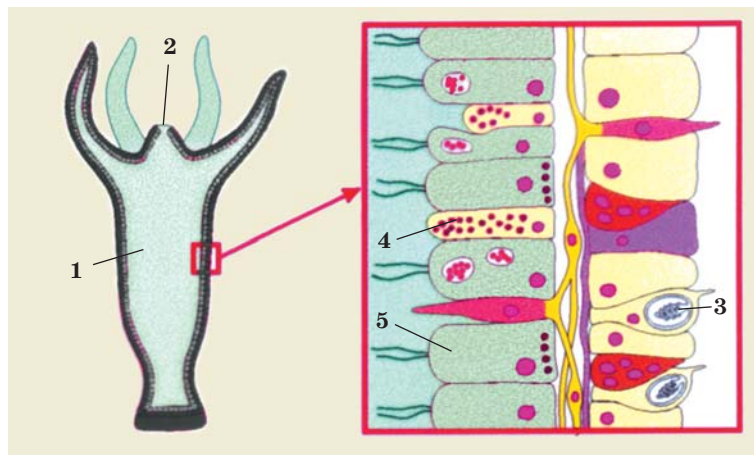


Рис. 98. Органы и клетки, обеспечивающие питание и пищеварение у пресноводной гидры: 1 – кишечная полость; 2 – рот; 3 – стрекательные клетки; 4 – железистые клетки; 5 – пищеварительно-мускульные клетки

Пищеварительная система у остальных многоклеточных животных имеет единый план строения и устроена более сложно. Она имеет вид *пищеварительной трубки* с разной степенью специализации отделов. У большинства животных пищеварительная система представлена *пищеварительным трактом* и открывающимися в него *пищеварительными железами*.

В качестве примера вспомним строение пищеварительной системы человека (рис. 99). Она состоит из ротовой полости, глотки, пищевода, желудка, тонкого и толстого кишечника, переходящего в прямую кишку, заканчивающуюся анальным (заднепроходным) отверстием. В ротовую полость открываются протоки трех пар слюнных желез, а в тонкий кишечник – протоки печени с желчным пузырем и поджелудочной железы.

Внутриполостное пищеварение, начинающееся в ротовой полости, продолжается в желудке и тонком кишечнике, в котором затем сменяется *пристеночным*. Пристеночное пищеварение протекает на поверхности кишечных ворсинок – выростов слизистой оболочки

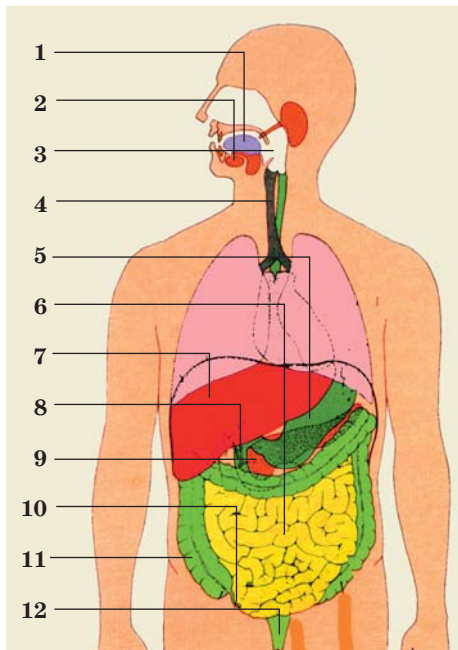


Рис. 99. Пищеварительная система человека: 1 – ротовая полость; 2 – слюнные железы; 3 – глотка; 4 – пищевод; 5 – желудок; 6 – тонкий кишечник; 7 – печень; 8 – желчный пузырь; 9 – поджелудочная железа; 10 – аппендикс; 11 – толстая кишка; 12 – прямая кишка

тонкого кишечника, выстилающих его внутреннюю поверхность и значительно увеличивающих площадь контакта с пищевыми частицами. После пристеночного пищеварения, через мембрану кишечных ворсинок начинается всасывание питательных веществ. Продукты расщепления углеводов (в основном глюкоза) и белков (аминокислоты, простые пептиды) всасываются в кровь, а жиров – в лимфу. В ходе всасывания большую роль играют физические процессы, такие, как диффузия, фильтрация и осмос. Всасывание является также результатом активной деятельности эпителиальных клеток слизистой оболочки тонкого кишечника. В толстом кишечнике непереваренные остатки пищи расщепляются бактериями – симбиотическими обитателями кишечника, образующими его микрофлору. После расщепления из непереваренных остатков пищи всасывается вода и формируются каловые массы, удаляющиеся наружу через анальное отверстие.



Питание организмов: автотрофное и гетеротрофное; фотосинтез, пищеварение: внутриклеточное, полостное (внеклеточное), пристеночное; пищеварительные вакуоли; кишечная полость; пищеварительная трубка, пищеварительный тракт, пищеварительные железы.



1. Дайте определение процессам питания и пищеварения организмов.
2. Какую роль для растения играют процессы поглощения корнем воды с растворенными в ней минеральными веществами и усвоение листьями из атмосферы углекислого газа?
3. В чем различие автотрофного и гетеротрофного питания?
4. Каким образом осуществляется питание и пищеварение у одноклеточных животных?
5. Из каких отделов состоит пищеварительная система человека?
6. Какова роль пищеварительных желез в пищеварении?
7. Охарактеризуйте процессы, происходящие в разных отделах пищеварительной системы человека.



Используя муляж торса человека, выясните расположение органов пищеварения в теле человека. Охарактеризуйте функции органов пищеварительного тракта. Заполните таблицу (в тетради).

Пищеварительная система человека

Отдел системы	Органы, образующие отдел	Функции

§ 19.

ДЫХАНИЕ И ТРАНСПОРТ ВЕЩЕСТВ У ОРГАНИЗМОВ

Рассмотрите рисунки 100–108. Какие органы обеспечивают дыхание изображенных на рисунках организмов? Чем представлены транспортные системы у изображенных на рисунках организмов?

Дыхание, или **газообмен** включает процессы поступления и использования кислорода, а также удаления углекислого газа, паров воды и других конечных продуктов обмена веществ. Значение дыхания для организма состоит в освобождении энергии, заключенной в органических веществах. Необходимый для окисления органических веществ кислород организмы получают или непосредственно из атмосферы, либо из воды, в которой он растворен.

Различают дыхание внешнее и внутреннее. Газообмен между организмом и внешней средой, включающий в себя поглощение кислорода и выделение углекислого газа, а также транспорт этих веществ к отдельным органам, тканям и клеткам, называют внешним дыханием. В этом процессе кислород не используется, а только транспортируется.

Внутреннее, или клеточное дыхание, включает в себя биохимические процессы, которые приводят к освобождению энергии, образованию воды и углекислого газа. В клетках организма кислород окисляет органические вещества до углекислого газа и воды, при этом образующаяся энергия запасается в молекулах АТФ.

Дыхание растений. У растений дыхание присуще всем органам и тканям. Водные растения дышат кислородом, растворенным в воде, поступающим через всю поверхность тела путем *диффузии*. Некоторые водные растения, например, кувшинки, имеют воздухоносные полости, обеспечивающие проведение воздуха и удерживающие растения в толще воды (рис. 100).

Наземные растения для дыхания используют атмосферный кислород, проникающий через устьица листьев и зеленых побегов, а также через кожицу молодых корней и чечевички стеблей. Кроме того, растения для дыхания используют кислород, образовавшийся в ре-

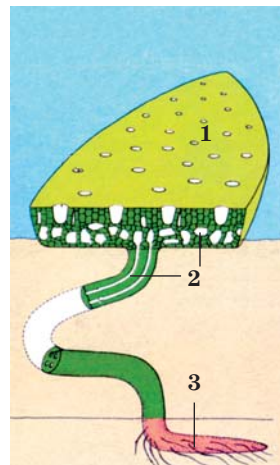
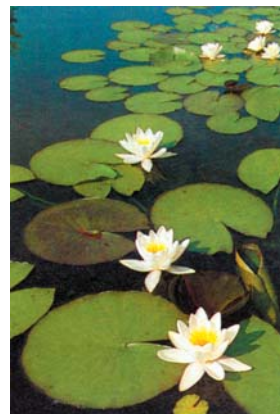


Рис. 100. Кувшинка белая: 1 – устьица в верхнем эпидермисе плавающего листа; 2 – воздухоносные полости; 3 – корневище в грунте водоема

ДЫХАНИЕ ОРГАНИЗМОВ

- диффузное
- кожное
- жаберное
- легочное

зультате фотосинтеза в межклетниках листа. Дышат растения и днем, и ночью. Днем вдыхается в основном атмосферный кислород, а ночью, когда устьица закрыты, усваивается кислород, накопленный в листьях.

Интенсивность дыхания у разных органов растения неодинакова. Особенно интенсивно дышат молодые и быстро растущие органы. Например, сухие семена дышат сравнительно медленно, но стоит только создать необходимые условия для их прорастания, как дыхание семян усиливается.

Дыхание животных. Одноклеточные животные, или простейшие, дышат путем диффузии газов через плазматическую мембрану. Диффузия обеспечивает также *кожное дыхание* кишечнорастных и большинства червей, осуществляемое через покровы тела, пронизываемые для газов. Однако у большинства многоклеточных животных развились специальные *органы дыхания*. Главными в них являются дыхательные поверхности, которые имеют значительную площадь и связаны с кровеносной системой, обеспечивающей доставку дыхательных газов к тканям и клеткам организма.

Так, водные членистоногие, например, речные раки, дышат с помощью *жабр* – выростов кожных покровов, пронизанных густой сетью кровеносных сосудов (рис. 101, 1). У наземных беспозвоночных, например, насекомых, дыхательная система представлена *трахеями* – хитиновыми трубочками, пронизывающими все тело животных, и открывающимися наружу дыхальцами (рис. 101, 2). Кислород поступает непосредствен-

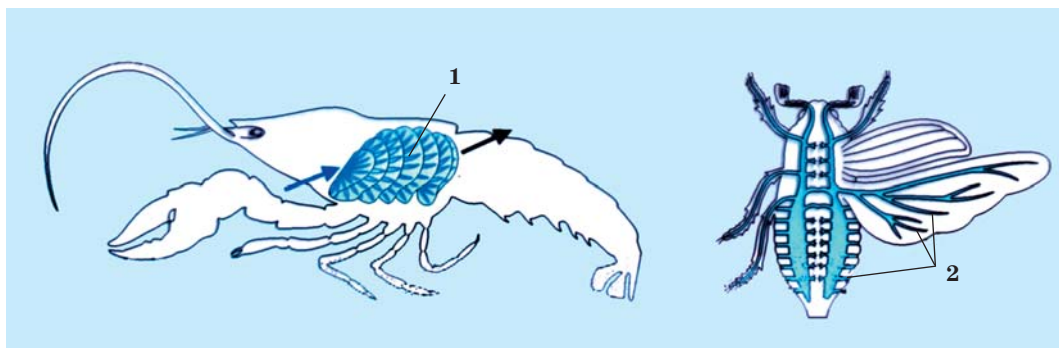


Рис. 101. Органы дыхания ракообразных и насекомых: 1 – жабры речного рака; 2 – трахейная система майского жука

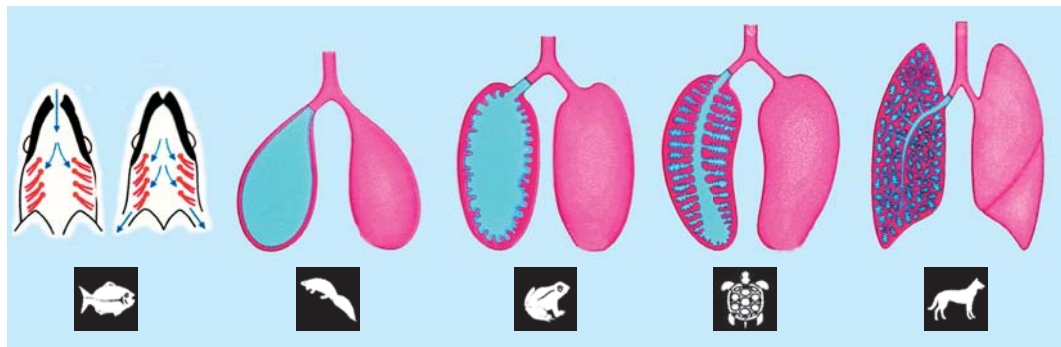


Рис. 102. Жабры рыб и усложнение строения легких у позвоночных животных

но к органам и тканям, поэтому необходимость в его транспортировке кровью отпадает.

У позвоночных животных, в том числе и у человека, дыхание осуществляется через органы дыхания (рис. 102), а газы переносит кровь. Органами дыхания водных позвоночных животных, например, рыб, служат жабры, пронизанные густой сетью кровеносных сосудов. Легочное дыхание характерно для большинства наземных позвоночных животных. *Легкие* представляют собой тонкостенные полые мешки, стенки которых оплетены густой сетью кровеносных сосудов. Наиболее простое строение имеют легкие у земноводных, так как наряду с легочным дыханием, у этих животных осуществляется и кожное.

Наибольшего совершенства органы дыхания достигли у млекопитающих, в том числе и у человека (рис. 103). Площадь дыхательной поверхности легких, например, у человека, в десятки раз превосходит площадь тела (до 100 м^2). Легкие состоят из *альвеол* – легочных пузырьков, оплетенных густой сетью капилляров. Через стенки альвеол и капилляров происходит газообмен, т.е. внешнее дыхание.

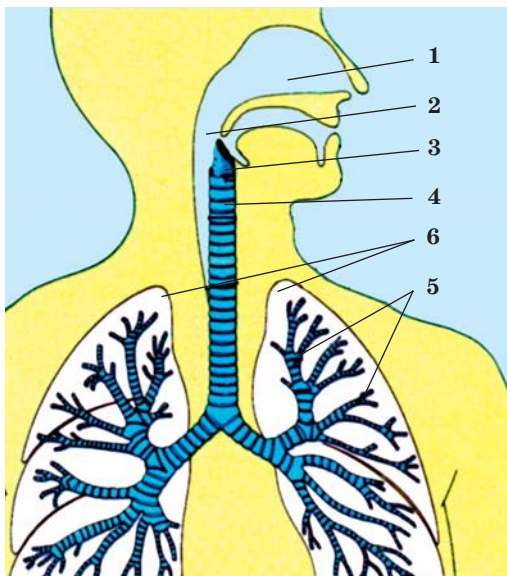


Рис. 103. Органы дыхания человека: 1 – носовая полость; 2 – носоглотка; 3 – гортань; 4 – трахея; 5 – бронхи; 6 – легкие

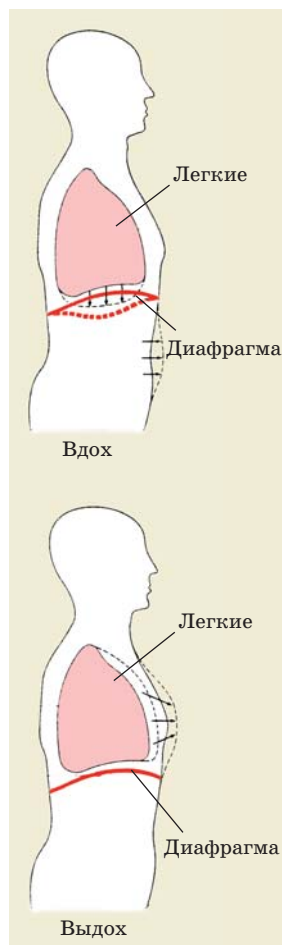


Рис. 104. Дыхательные движения человека

Вентиляция легких осуществляется за счет дыхательных движений – вдоха и выдоха. Например, у человека вдох происходит благодаря сокращению межреберных мышц и опусканию диафрагмы, в результате чего объем грудной полости увеличивается, и в легких создается пониженное давление (рис. 104). Разница между атмосферным и внутрилегочным давлениями приводит к всасыванию воздуха по дыхательным путям (носовая полость, глотка, трахея, бронхи) в легкие. Выдох происходит в значительной степени пассивно. Рёбра под действием собственной тяжести опускаются, диафрагма возвращается в исходное положение, объем грудной полости уменьшается, и воздух выдавливается из легких.

Транспорт веществ. Транспорт веществ в организме обеспечивает доставку необходимых соединений к тканям и клеткам, их всасывание, а также удаление продуктов метаболизма. У одноклеточных организмов транспорт осуществляется через плазматическую мембрану, благодаря диффузии и движению цитоплазмы. У многоклеточных организмов клетки удалены друг от друга. Поэтому в их телах имеются специальные транспортные системы, обеспечивающие перенос нужных веществ на значительное расстояние.

Транспорт веществ у растений. Передвижение воды, минеральных и органических веществ у высших растений осуществляется по проводящим тканям, образующим *проводящую систему*.

Транспорт воды и минеральных веществ в растении происходит по сосудам древесины восходящим током от корня в стебель, а оттуда – во все другие органы (рис. 105). Водные растворы минеральных веществ транспортируются в растении благодаря корневому давлению и листьям, которые испаряют воду и присасывают новые порции воды из сосудов.

Транспорт растворов органических веществ идет по ситовидным трубкам луба нисходящим током. Основную массу переносимых по ситовидным трубкам веществ составляют растворимые сахара. Летом транспорт идет преимущественно вниз, от листьев к корням и запасующим органам растения. Весной растворы двигаются в обратном направлении – вверх к развертывающимся почкам и растущим побегам.

Транспорт веществ у животных. У большинства многоклеточных животных транспорт веществ обеспечивает *кровеносная система*. Главная ее функция состоит в переносе питательных веществ и газов из одной части организма в другую, осуществляемом при *кровообращении* – непрерывной циркуляции крови. Кровеносная система может быть двух типов: замкнутая и незамкнутая. При замкнутой *кровеносной* системе кровь циркулирует по кровеносным сосудам благодаря сокращениям сердца. По многочисленным капиллярам кровь доставляет ко всем органам и тканям тела животных кислород и питательные вещества, удаляя от них углекислый газ и продукты обмена веществ. Такой тип кровеносной системы характерен для кольчатых червей (рис. 106) и хордовых животных (рис. 108).

При *незамкнутой* кровеносной системе кровь из сосудов изливается в полости тела, где омывает внутренние органы и снова собирается в сердце (у ракообразных, паукообразных, насекомых). У насекомых кровеносная система не используется для транспорта дыхательных газов, так как эту функцию полностью выполняют трахеи (рис. 107).

У позвоночных животных, в том числе и у человека, замкнутая кровеносная система состоит из сердца и кровеносных сосудов, образующих *круги кровообращения*. Строение кровеносной системы у позвоночных животных усложняется от рыб к птицам и млекопитающим. Так, кровеносная система рыб образована двухкамерным сердцем и сосудами

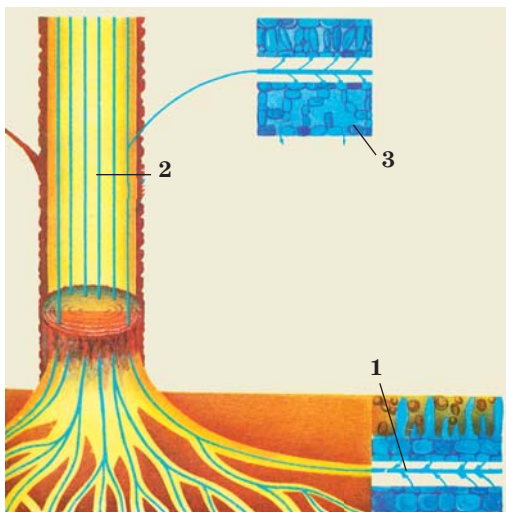


Рис. 105. Транспорт воды и минеральных веществ в растении: 1 – корневое давление; 2 – водяные столбики в сосудах древесины; 3 – испарение воды листьями

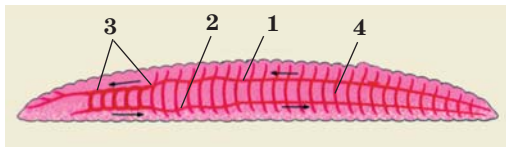


Рис. 106. Кровеносная система кольчатого (дождевого) червя: 1 – спинной сосуд; 2 – брюшной сосуд; 3 – «сердца»; 4 – кольцевые сосуды

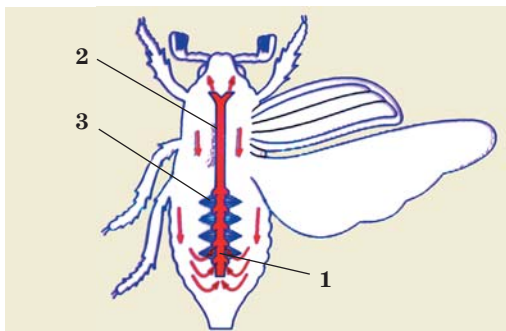


Рис. 107. Кровеносная система насекомого: 1 – сердце; 2 – аорта; 3 – мышцы, обеспечивающие работу сердца

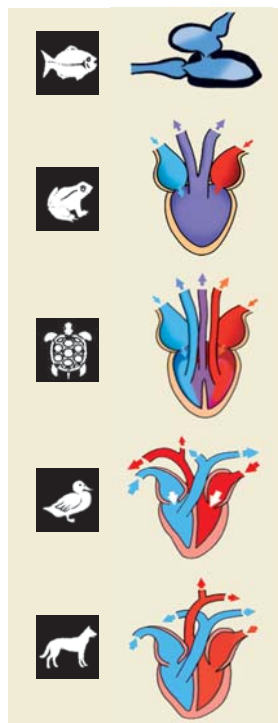


Рис. 108. Усложнение строения кровеносной системы у позвоночных животных

одного круга кровообращения. В сердце рыб кровь венозная. Ее превращение в артериальную кровь происходит в капиллярах жабр. У остальных позвоночных животных в кровеносной системе два круга кровообращения: *малый* (легочный) и *большой*. В такой кровеносной системе каждая порция крови, выбрасываемая сердцем за одно сокращение, проходит через него дважды. Сначала кровь выталкивается сердцем в малый круг кровообращения, который проходит через легкие, где обогащается кислородом. Затем, кровь возвращается обратно в сердце, где, прежде чем она попадет в большой круг кровообращения, давление ее в результате нового сокращения сердца повышается.

Из сердца кровь затем разносится ко всем органам, которым она отдает кислород и питательные вещества. От органов кровь собирает углекислый газ и другие конечные продукты обмена веществ, поступающие в легкие и почки. В трехкамерном сердце земноводных в левом предсердии кровь по составу артериальная, а в правом предсердии – венозная. В желудочке сердца земноводных кровь становится смешанной. За счет неполной перегородки в желудочке трехкамерного сердца пресмыкающихся кровь у них становится частично несмешанной. У птиц и млекопитающих благодаря четырехкамерному сердцу, кровь полностью разделена на артериальную и венозную, что обеспечивает высокий уровень обмена веществ в организме.



Дыхание (газообмен): диффузное, кожное; органы дыхания: жабры, трахеи, легкие, воздушные мешки, альвеолы; проводящая система, транспорт веществ; кровеносная система: сердце, кровеносные сосуды; кровообращение: большой и малый круги кровообращения.



1. Что такое дыхание? Каково его значение для организма? 2. С помощью каких органов дышат растения? 3. Как осуществляется дыхание у одноклеточных животных? 4. В каком направлении шло усложнение строения органов дыхания у позвоночных животных? 5. Какое значение для организма имеет транспорт неорганических и органических веществ? 6. Как в растениях перемещаются водные растворы веществ? 7. Как происходит передвижение веществ у одноклеточных организмов? 8. В связи с чем у многоклеточных животных развивается специальная транспортная система – кровеносная? 9. Какие типы кровеносной системы животных вам известны? В чем их различие?

§ 20.

ВЫДЕЛЕНИЕ И ЗАЩИТА У ОРГАНИЗМОВ

Рассмотрите рисунки 109–117. Какие органы обеспечивают выделение у изображенных на рисунках организмов конечных продуктов обмена веществ? Какие способы защиты от неблагоприятных условий окружающей среды имеются у организмов?

В процессе транспорта исключенные из метаболизма вещества выводятся из организма. Этот процесс, названный *выделением*, препятствует отравлению организма вредными конечными продуктами обмена веществ. Кроме того, благодаря процессу выделения в организме удерживаются и повторно используются необходимые химические соединения, что обеспечивает постоянство состава и свойств его внутренней среды.

Выделение у растений. Конечные продукты метаболизма у растений – это вода, углекислый газ, кислород и органические кислоты. Большинство конечных продуктов растения используют вторично. Например, углекислый газ и вода идут на фотосинтез. Единственный продукт, выделяемый растением в большом количестве, – это кислород. При фотосинтезе его образуется больше, чем нужно растению для дыхания. Избыток воды выводится в основном через устьица и называется *транспирацией*. Помимо выделительной функции транспирация предохраняет растение от перегрева. Поэтому в жаркую погоду растение испаряет воды больше, чем в прохладную.

Значительная часть соединений выводится из организма растения при *листопаде* – естественном процессе отделения листьев от стеблей при их старении и отмирании (рис. 109). При старении листьев из них оттекают в другие органы необходимые растению питательные вещества, а ненужные и вредные – поступают в листья. Кроме выделительной функции, листопад сокращает потерю воды растением в неблагоприятных условиях (зимой и при засухе) и предотвращает поломку ветвей под тяжестью снега.

Выделение у животных. Основные продукты метаболизма у животного организма – вода, углекислый



Рис. 109. Старение листьев и листопад

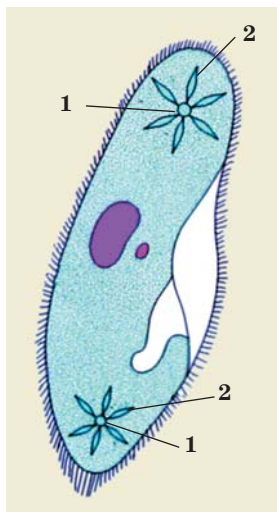


Рис. 110. Сократительные вакуоли у инфузории-туфельки: 1 – центральная капсула; 2 – радиальные каналы

газ и аммиак. У одноклеточных животных углекислый газ и аммиак удаляются через поверхность плазматической мембраны, а избыток воды и солей – через *сократительные вакуоли* (рис. 110).

У многоклеточных животных имеются *органы выделения*. Главный принцип их работы – выведение ненужных и вредных веществ, а также сохранение веществ, необходимых организму. Это достигается путем *филтрации* жидких продуктов метаболизма сквозь поры плазматической мембраны клеток органов выделения. После филтрации происходит *обратное избирательное всасывание* необходимых организму химических соединений благодаря активному их транспорту через плазматическую мембрану.

Наиболее простыми органами выделения обладают плоские черви. Так, планария имеет выделительную систему, состоящую из *извитых канальцев*, начинающихся в теле червя *звездчатыми клетками* (рис. 111, I). По канальцам жидкость выводится наружу через выделительные поры, открывающиеся на брюшной стороне тела червя. Выделительная система кольчатых червей представлена *выделительными трубочками*, расположенными попарно в каждом сег-

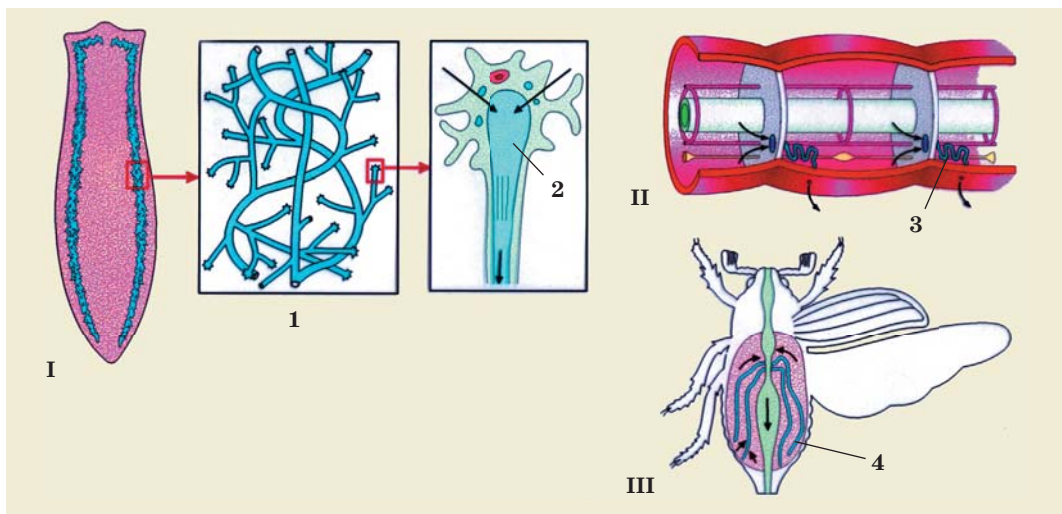


Рис. 111. Органы выделения беспозвоночных животных: I – планарии: 1 – извитые канальцы, 2 – звездчатые клетки; II – дождевого червя: 3 – выделительные трубочки; III – майского жука: 4 – мальпигиевы сосуды

менте тела (рис. 111, II). В них собираются из полости тела червя жидкие продукты, которые затем выводятся наружу через выделительные отверстия, расположенные на последующем сегменте тела.

У насекомых конечные продукты обмена веществ собираются из полости тела в *мальпигиевы сосуды*, начинающиеся слепо в области брюшка (рис. 111, III). Продукты выделения попадают в заднюю кишку, где смешиваются с неперевааренными остатками пищи и через анальное отверстие удаляются наружу.

У позвоночных животных, в том числе и у человека, конечные продукты обмена веществ выводятся из организма через почки, легкие, кожу и кишечник. Основными органами мочеиссудения служат *почки* (рис. 112). Они активно снабжаются кровью, из которой путем фильтрации и обратного избирательного всасывания образуется *моча*. Основная структурная и функциональная единица почки – *нефрон*, в котором в результате фильтрации из плазмы крови образуется моча. Ее количество составляет у человека в сутки 1,5–2 л.

Почки у всех позвоночных животных – органы парные. У земноводных, пресмыкающихся, птиц моча удаляется через клоаку, у рыб и млекопитающих – через мочеиссудательный канал.

Защита у одноклеточных организмов. Любой организм живет в условиях окружающей его среды, оказывающих на него различные воздействия. Некоторые условия, например, колебания температуры, иссушение воздуха, способны негативно влиять на жизнедеятельность организма, снижают его устойчивость к среде. У одноклеточных организмов основным способом защиты является образование защитных оболочек и переход в неактивное жизненное состояние. Например, все бактерии формируют особую капсулу, защищающую бактериальную клетку от негативных воздействий. При наступлении неблагоприятных условий бактериальная клетка превращается в *спору* (рис. 113). В таком виде бактерии могут находиться длительное время в состоянии покоя и выдерживать высокие температуры, иссушение и радиацию.

Одноклеточные животные, или простейшие, при наступлении неблагоприятных условий образуют цисты. Находясь в состоянии *цист*, они переживают высыха-

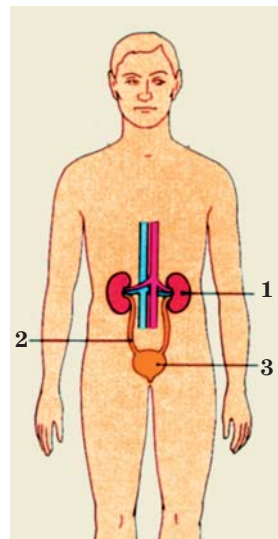


Рис. 112. Органы мочевыделительной системы человека: 1 – почки; 2 – мочеточники; 3 – мочевой пузырь



Рис. 113. Стадии образования споры у бактерий



Рис. 114. Средства пассивной защиты у растений (колючки на стволе акации)

ние и промерзание водоемов, отсутствие пищи, а также могут распространяться при помощи ветра, птиц и других животных (см. рис. 90, 1).

Защита у многоклеточных растений. Наземные растения защищены от воздействия вредных факторов внешней среды с помощью различных образований покровной ткани: эпидермиса, пробки и корки, защищающих их от механического повреждения и проникновения микроорганизмов. На поверхности листьев, молодых стеблей и плодов имеется *кутикула*, благодаря которой они становятся малопроницаемыми для газов, воды и микроорганизмов. Многие растения имеют средства пассивной защиты от поедания животными. Это жгучие волоски, щипы, колючки (рис. 114).

Растения обладают также средствами химической защиты. В органах растений образуется жидкость, содержащая химические вещества, препятствующие поеданию этих растений животными. Это млечный сок молочая, смола хвойных. Некоторые растения активно защищаются от болезнетворных бактерий и грибов с помощью *фитонцидов* – летучих биологически активных веществ, вырабатываемых в клетках различных надземных и подземных органов. Известны фитонциды лука, чеснока, хрена, горчицы, хвойных растений.

Защита у многоклеточных животных. Защиту организма многоклеточных животных от неблагоприятных воздействий окружающей среды создают *кожные покровы*. У беспозвоночных животных они представлены в основном клетками эпителиальной ткани. Так, ресничный эпителий у червей планарий не только создает механическое препятствие, но и выделяет специальную слизь, убива-

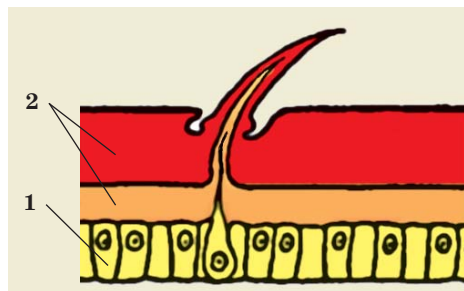


Рис. 115. Наружный скелет (хитиновый покров) членистоногих: 1 – клетки кожи; 2 – слой хитина

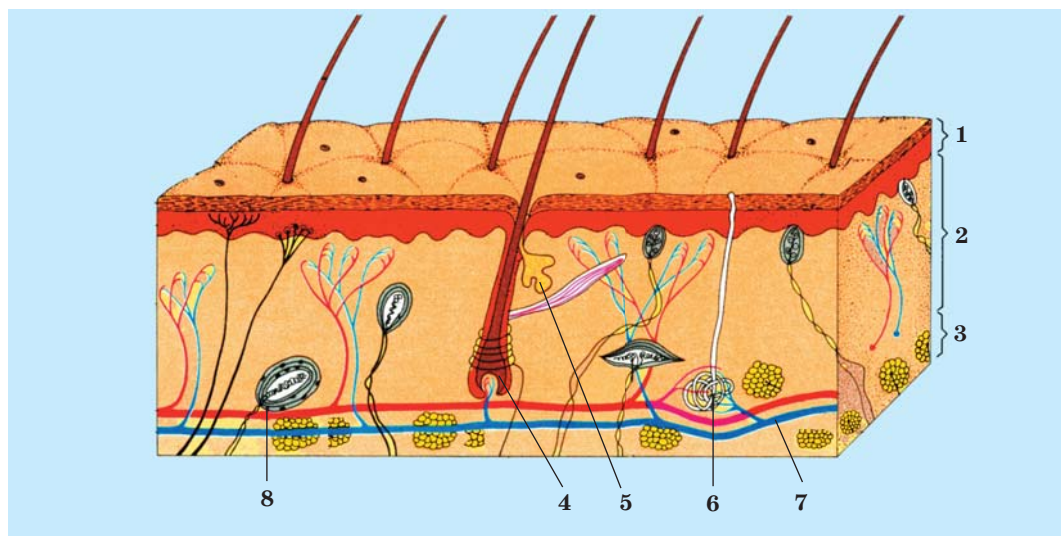


Рис. 116. Строение кожи млекопитающего: 1 – эпидермис; 2 – дерма (собственно кожа); 3 – подкожная жировая клетчатка; 4 – волосная луковица с волосом; 5 – сальная железа; 6 – потовая железа; 7 – кровеносный сосуд; 8 – рецепторы

ющую бактерий. Плотная кутикула паразитических червей защищает их от действия пищеварительных соков организма хозяина. У членистоногих кутикула содержит полисахарид хитин, придающий ей твердость (рис. 115). Клетки эпителиальной ткани у моллюсков формируют известковую раковину.

Кожные покровы позвоночных животных, например млекопитающих, образованы двумя слоями: *эпидермисом* и *собственно кожей*, или *дермой* (рис. 116). В нижней части дермы откладывается жир, формирующий подкожную жировую клетчатку. В дерме расположены кожные железы, кровеносные сосуды, рецепторы и подходящие к ним нервы. У млекопитающих кожные покровы играют важную роль в процессах терморегуляции. Жировая клетчатка предохраняет организм от переохлаждения. Потовые железы обеспечивают выведение избыточного тепла из организма. К производным эпидермиса относятся: у пресмыкающихся – роговые чешуи и щитки; у птиц – клюв, когти, роговые чешуи и перья, у млекопитающих – волосы, ногти, когти, полые рога и копыта. Эти образования выполняют различные функции.

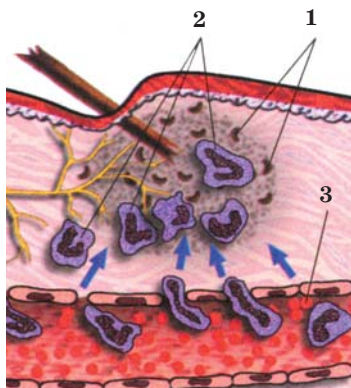


Рис. 117. Схема фагоцитоза: 1 – болезнетворные бактерии; 2 – лейкоциты, пожирающие бактериальные клетки; 3 – кровеносный сосуд

Защита организма от болезней. Иммуитет. Надежную защиту многоклеточных организмов от вторжения болезнетворных бактерий и вирусов обеспечивает *иммуитет* – состояние невосприимчивости к чужеродным клеткам и веществам. Растения обладают устойчивостью к некоторым бактериальным, вирусным и грибковым заболеваниям. Реакции иммуитета также выражены у животных и человека, обладающих иммуитной системой.

Она включает красный костный мозг, тимус, селезенку, лимфатические узлы, а также скопления лимфоидной ткани, расположенные в пищеварительных и дыхательных путях. При контакте с чужеродными клетками, вирусами и веществами иммуитная система способна давать различные формы иммуитного ответа, главный из которых связан со способностью лейкоцитов крови к фагоцитозу (рис. 117) и выработке клетками-лимфоцитами особых белков – антител. Эти белки уничтожают болезнетворных бактерий и вирусов, попавших во внутреннюю среду организма. Следовательно, по своей природе иммуитет у животных и человека может быть *клеточным*, т.е. связанным с фагоцитами – пожирателями чужеродных клеток, либо *гуморальным*, обеспеченным антителами, вырабатываемыми лимфоцитами.



Выделение, транспирация, листопад, сократительные вакуоли; органы выделения: извитые канальцы, звездчатые клетки, выделительные трубочки, мальпигиевы сосуды, почки; нефрон, фильтрация, обратное избирательное всасывание; моча; спора, циста; кутикула, фитонциды; кожные покровы: дерма, эпидермис; иммуитет: клеточный, гуморальный.



1. В чем значение процесса выделения? 2. Какие органы растений участвуют в выделении? Какие вещества при этом образуются? 3. Каким образом выводится из клетки простейших избыток воды? 4. Чем представлены органы выделения у червей и насекомых? 5. Чем образована мочевыделительная система у позвоночных животных и человека? 6. Какими способами одноклеточные организмы защищаются от неблагоприятных воздействий окружающей среды? 7. Как растения защищены от воздействия неблагоприятных факторов? 8. Какие защитные образования имеются у беспозвоночных животных? 9. Какие функции выполняют кожные покровы позвоночных животных? 10. Что такое иммуитет? Чем обеспечивается иммуитный ответ?

§ 21.

РАЗДРАЖИМОСТЬ И РЕГУЛЯЦИЯ У ОРГАНИЗМОВ

Рассмотрите рисунки 118–123. Какое значение для организмов имеет их способность реагировать на действие различных раздражителей? Каким образом происходит регуляция функций организма?

Любой организм способен воспринимать поступающие из внешней и внутренней среды различные сигналы (раздражители) и реагировать на них, т.е. обладает *раздражимостью*. Раздражителями могут быть свет, температура, звук, механическое воздействие, пищевые вещества и др. Проявление адекватных реакций организма на раздражители невозможно без согласованной работы отдельных его частей – органов, тканей и клеток. Это достигается путем *регуляции*, осуществляемой у всех организмов с помощью химических веществ, а у многоклеточных животных еще и благодаря нервным импульсам, т.е. рефлексорно.

Раздражимость у одноклеточных организмов. Наиболее простые формы раздражимости наблюдаются у микроорганизмов (бактерий, простейших, одноклеточных водорослей и грибов). Например, инфузория-туфелька передвигается в сторону пищи, а эвглена зеленая – к освещенной части водоема, ибо ей необходим свет для фотосинтеза. Ответные двигательные реакции одноклеточных организмов на направленно действующий раздражитель окружающей среды называют *таксисами* (от греч. *taxis* – расположение). Таксисы могут быть положительными, если организм движется в сторону действующего раздражителя, и отрицательными, если организм перемещается от него. Примером отрицательного фототаксиса служит реакция амебы на свет (рис. 118).

Раздражимость и регуляция у многоклеточных растений. Растения не имеют органов чувств и не обладают нервной системой. Поэтому раздражимость у них проявляется главным образом в ростовых движениях (тропизмах, настиях), вызванных действием света, влаги, земного тяготения. Растение регулирует эти движения с помощью синтезируемых в клетках

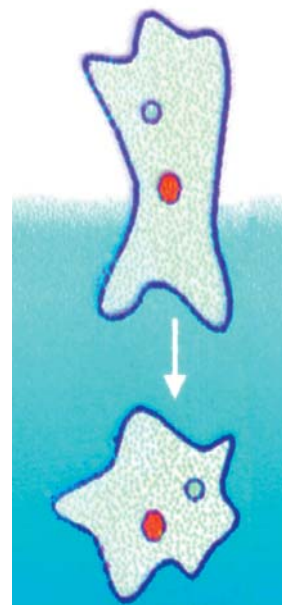


Рис. 118. Отрицательный фототаксис у амебы

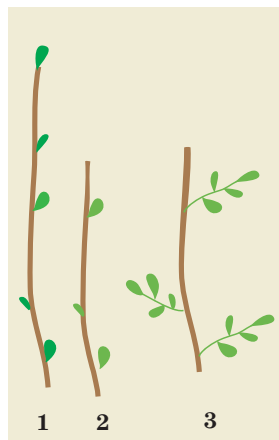


Рис. 119. Опыт, демонстрирующий влияние ростовых веществ на рост побега: 1 – верхушечное доминирование; 2 – удаление верхушечной почки; 3 – ветвление побега

ростовых веществ – особых химических соединений органической природы.

Одни ростовые вещества оказывают стимулирующее влияние, другие – тормозят рост органов растения. Так, опытным путем было доказано, что в конусе нарастания верхушечной почки клетками образовательной ткани вырабатываются ростовые вещества, стимулирующие рост главного побега и тормозящие разворачивание пазушных почек (рис. 119). Это явление называют верхушечным доминированием. Если верхушечную почку удалить, то ростовые вещества начнут вырабатываться в конусах нарастания пазушных почек, что вызывает образование у растения боковых побегов. Такой прием, известный в растениеводстве как прищипка, широко используется при выращивании культурных растений, например огурцов.

Рефлекторная регуляция и нервные системы у многоклеточных животных. Многоклеточные животные имеют *нервную систему*, поэтому проявление раздражимости у них носит рефлекторный характер, а регуляция осуществляется с помощью нервных импульсов. Ответную реакцию организма, осуществляемую на действующий раздражитель при участии нервной системы, называют *рефлексом*. Совокупность нервных

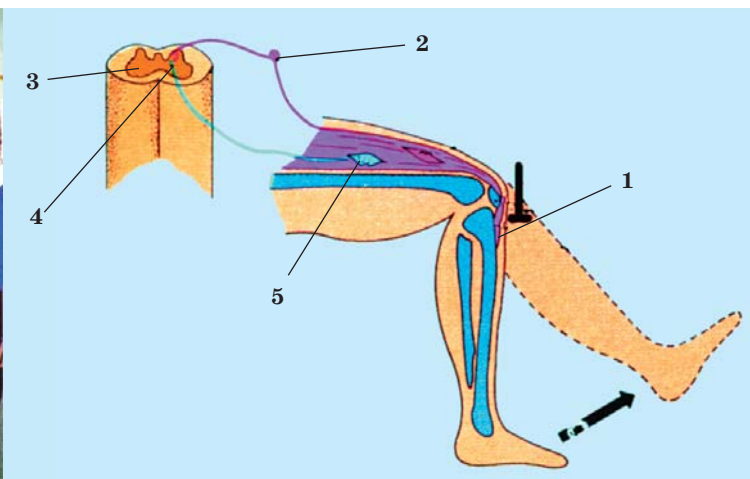


Рис. 120. Коленный рефлекс и схема его рефлекторной дуги: 1 – рецептор; 2 – чувствительный нейрон; 3 – центральная нервная система (спинной мозг); 4 – двигательный нейрон; 5 – рабочий орган

образований, осуществляющих рефлекс, образует его рефлекторную дугу (рис. 120).

Наиболее примитивной нервной системой обладают кишечнополостные. Например, у пресноводной гидры (рис. 121, 1) многочисленные отростки нейронов, соединяясь друг с другом, образуют нервную сеть, пронизывающую все тело животного, поэтому такую нервную систему называют *сетчатой (диффузной)*. Большинство животных имеют нервную систему, в которой нервные клетки сгруппированы в определенных участках тела. Так, у плоских червей скопления нервных клеток образуют головные нервные узлы, от которых вдоль тела тянется пара нервных стволов с нервными окончаниями (рис. 121, 2). Отсюда нервную систему плоских червей называют *стволовой*. Еще большей концентрации достигают скопления нервных клеток в нервной системе у насекомых (рис. 121, 3). У них нервные узлы расположены во всех отделах тела. Нервную систему, состоящую из нервных узлов и отходящих от них нервов, называют *узловой*. Сложного строения достигает нервная система у хордовых животных. Она представлена головным и спинным мозгом, образующими центральный отдел нервной системы, а также отходящими от них ко всем органам нервами, нервными окончаниями и нервными узлами, составляющими ее периферический отдел. Все части нервной системы у хордовых животных развиваются из нервной трубки, поэтому ее называют *трубчатой* (рис. 121, 4).

Наиболее сложное строение у позвоночных животных в нервной системе имеет головной мозг. Он

НЕРВНЫЕ СИСТЕМЫ

- сетчатая (диффузная)
- створовая
- узловая
- трубчатая

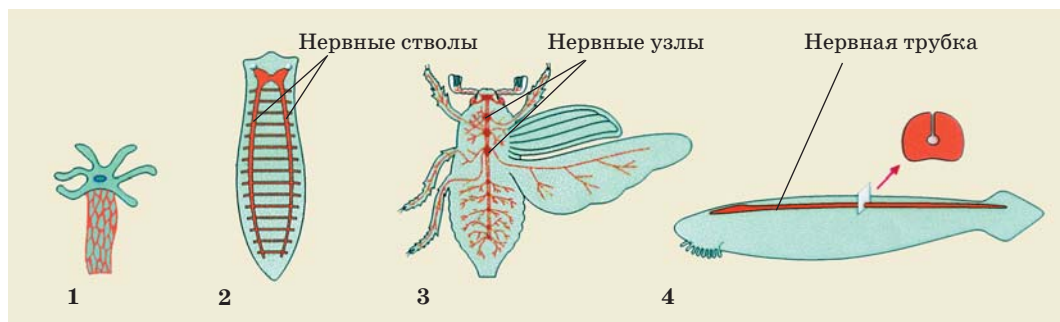


Рис. 121. Нервные системы животных: 1 – сетчатая (гидра); 2 – створовая (планария); 3 – узловая (майский жук); 4 – трубчатая (ланцетник)

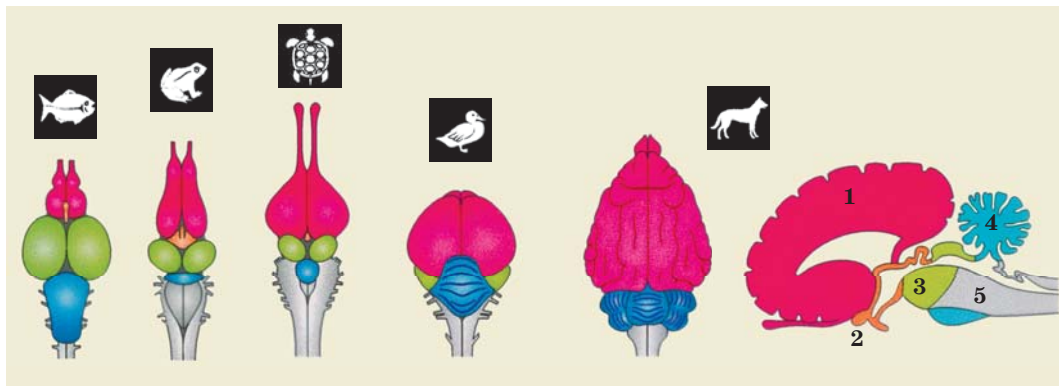


Рис. 122. Усложнение строения головного мозга у позвоночных животных: 1 – передний мозг; 2 – промежуточный мозг; 3 – средний мозг; 4 – мозжечок; 5 – продолговатый мозг

состоит из пяти отделов: переднего, промежуточного, среднего, мозжечка и продолговатого. Отделы головного мозга развиты у разных позвоночных животных неодинаково (рис. 122). У рыб все отделы головного мозга примерно одной величины, за исключением мозжечка, отвечающего за координацию движений. Земноводные имеют более крупный передний мозг, в котором заметны парные большие полушария. Эта часть головного мозга отвечает за работу органов чувств, что обуславливает лучшее, чем у рыб, развитие у земноводных органов зрения, обоняния и слуха. Мозжечок у земноводных, наоборот, развит хуже, что связано со значительным однообразием и простотой их движений. Головной мозг пресмыкающихся отличается от головного мозга земноводных более крупными общими размерами. Более интенсивные, в сравнении с земноводными, движения пресмыкающихся привели к дальнейшему развитию у них переднего мозга и мозжечка. У птиц эти отделы головного мозга развиты еще лучше, чем у пресмыкающихся. Полет птиц отличается большой сложностью, поэтому мозжечок (координирующий движение) у птиц имеет складки, значительно увеличивающие его поверхность. Заметно развиты у птиц передний и средний мозг.

Наивысшего развития достигает головной мозг у млекопитающих. Передний мозг большинства млекопитающих имеет кору, образованную бороздами

и извилинами, которые значительно увеличивают его поверхность. Крупные большие полушария определяют сложное и разнообразное поведение млекопитающих. Оно проявляется, прежде всего, в заботе о потомстве, способности к обучению и общению друг с другом. У человека кора больших полушарий обеспечивает также высшие психические процессы: мышление, сознание, память и речь.

Гуморальная регуляция и эндокринная система. Кроме рефлекторной, у животных, в том числе и у человека, имеется *гуморальная регуляция* (от лат. *humor* – жидкость), основанная на передаче химических сигналов при помощи биологических активных веществ, поступающих в тканевую жидкость, кровь и лимфу. Важную роль в гуморальной регуляции играют *гормоны*, выделяемые эндокринными железами, входящими у позвоночных животных, в том числе и у человека, в состав *эндокринной системы* (рис. 123).

ОТДЕЛЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА

- передний мозг
- промежуточный мозг
- средний мозг
- мозжечок
- продолговатый мозг

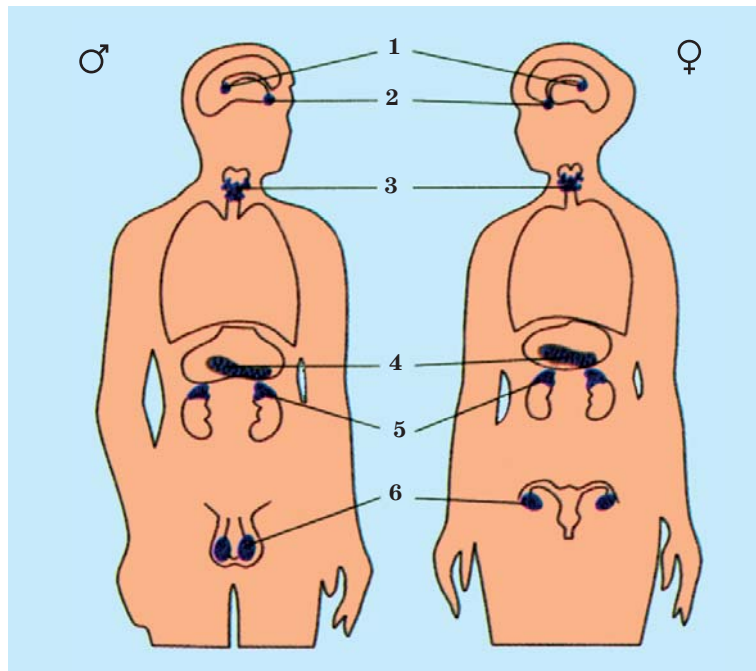


Рис. 123. Эндокринная система человека: 1 – эпифиз; 2 – гипофиз; 3 – щитовидная железа; 4 – поджелудочная железа; 5 – надпочечники; 6 – половые железы: семенники (слева), яичники (справа)

► Гормоны обладают высокой и специфической биологической активностью, т.е. действуют в очень малых количествах (менее одной миллионной доли грамма) и только на клетки, восприимчивые к их воздействию. Для эндокринных желез характерно обильное кровоснабжение, что обеспечивает поступление гормонов непосредственно в кровь (внутренняя секреция) и доставку их с кровью к органам и тканям, на которые они оказывают специфическое воздействие. Таким образом, гормоны функционируют как посредники, переносящие химическую информацию в определенное место организма – к органам-мишеням. Недостаточное или избыточное выделение гормонов приводит к эндокринным заболеваниям. Например, почти 10% населения земного шара страдает сахарным диабетом – заболеванием, связанным с низким уровнем в крови гормона инсулина, регулирующего углеводный обмен в организме.◀

Работой эндокринных желез управляет нервная система. Воздействуя на эндокринные железы, она стимулирует или тормозит образование гормонов.



Раздражимость, регуляция: рефлекторная, гуморальная; таксисы, ростовые вещества; нервная система: сетчатая (диффузная), стволовая, узловая, трубчатая; отделы головного мозга: передний, промежуточный, средний, мозжечок, продолговатый; рефлекс, рефлекторная дуга; эндокринная система, гормоны.



1. Что такое раздражимость? Приведите примеры раздражимости у разных организмов. 2. Каким образом одноклеточные организмы реагируют на различные сигналы среды? 3. Какую роль в проявлении раздражимости у растений играют ростовые вещества? 4. Что такое рефлекс и рефлекторная дуга? 5. Какие типы нервных систем имеются у животных? 6. В каком направлении происходило усложнение строения головного мозга у позвоночных животных? 7. В чем сущность гуморальной регуляции функций организма? Что такое гормоны? 8. Сравните деятельность нервной и эндокринной систем. Заполните таблицу (в тетради).

Деятельность нервной и эндокринной систем

Система	Форма передачи сигнала	Путь сигнала	Время ответа	Продолжительность ответа	Четкость ответа

§ 22.

РАЗМНОЖЕНИЕ ОРГАНИЗМОВ

Рассмотрите рисунки 124–128. Какими способами размножаются организмы, изображенные на рисунках? Как происходит образование спор и половых клеток у цветковых растений? Каким образом формируются половые клетки у млекопитающих?

Размножение – процесс воспроизведения себе подобных и увеличения числа особей присущ всем организмам. Все разнообразие способов размножения можно свести к двум основным формам: *бесполому* и *половому*. В бесполом размножении участвует одна родительская особь, которая передает свои наследственные признаки потомкам, образуя генетически однородный *клон* (от греч. *clon* – отпрыск, ветвь). В половом размножении чаще всего участвуют два родительских организма. Поэтому дочерняя особь, развивающаяся из *зиготы*, сочетает наследственную информацию, полученную от обоих родителей.

Размножение одноклеточных организмов. У одноклеточных организмов встречаются обе формы размножения. Бактерии и простейшие размножаются бесполым путем – *делением* материнской клетки надвое, или на большее число дочерних клеток (рис. 124, 1). Одноклеточные водоросли чередуют бесполое и половое размножение. Так, хлорелла в благоприятных условиях размножается *споруляцией*, т.е. при помощи спор (рис. 124, 2), а при похолодании или пересыхании водоемов – половым путем. Одноклеточные гри-

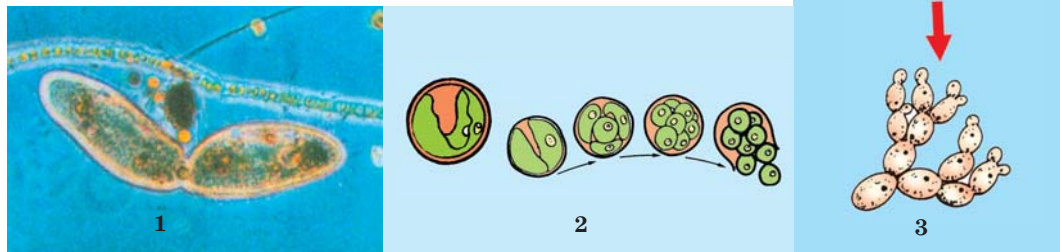
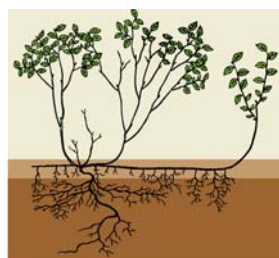
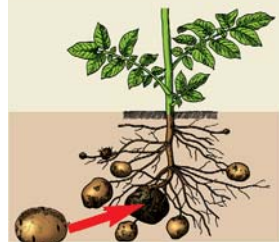


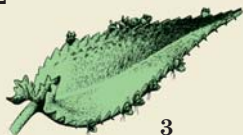
Рис. 124. Способы размножения одноклеточных организмов: 1 – деление надвое (инфузория-туфелька); 2 – споруляция, или образование спор (хлорелла); 3 – почкование (дрожжи)



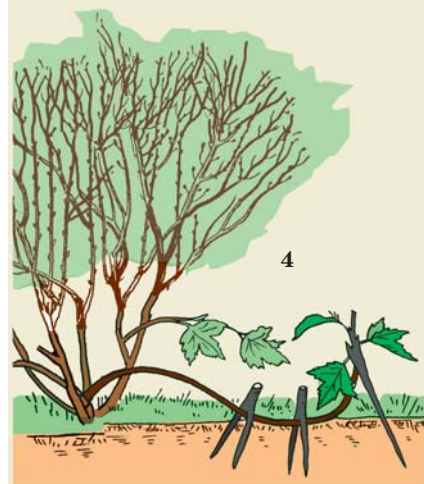
1



2



3



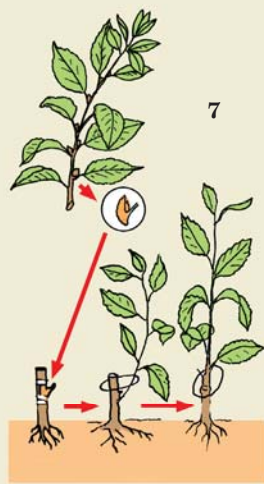
4



5



6



7

бы – дрожжи в благоприятных условиях размножаются бесполым путем – *почкованием* (рис. 124, 3), а при наступлении неблагоприятных условий переходят к образованию половых клеток шаровидной формы.

Размножение многоклеточных растений и грибов.

Многоклеточные растения размножаются бесполым и половым путем. Одним из самых распространенных способов бесполого размножения высших растений является *вегетативное*, которое обеспечивают отдельные органы и их части: корневища, клубни, луковицы, придаточные почки, листья и участки побегов (рис. 125).

Другим широко распространенным способом бесполого размножения растений является размножение при помощи спор. Споруляция у растений происходит в результате процесса спорогенеза в органах спороношения – спорангиях, расположенных на спорофите – бесполом поколении. У водорослей и высших растений споры формируются мейозом. Споры имеются не только у споровых растений, но и у семенных. Например, в пыльниках тычинок цветка покрытосеменных растений образуются микроспоры, а в семязачатках завязи пестика – мегаспоры.

Рис. 125. Вегетативное размножение растений: 1 – корневищем (черника); 2 – клубнями (картофель); 3 – придаточными почками на листьях (бриофиллум); 4 – отводками (смородина); 5 – черенками (традесканция); 6 – листом (сенполия); 7 – прививкой (яблоня)

У многоклеточных водорослей встречается еще один из способов бесполого размножения – *фрагментация*, при котором слоевище родительской особи распадается на отдельные части – фрагменты, из которых затем развиваются дочерние организмы.

Многоклеточным растениям присуще и половое размножение. Обеспечивающие его половые клетки – гаметы, образуются в результате гаметогенеза. У споровых растений гаметы развиваются на гаметофите – половом поколении растений, путем митоза. Гаметофит может существовать самостоятельно, например, у водорослей, мхов и папоротникообразных. У семенных растений гаметофиты сильно уменьшены в размерах и находятся внутри органов семенного размножения на спорофите.

Главным органом *семенного размножения*, например, у покрытосеменных растений, служит цветок. В нем есть тычинки и пестики. В пыльниках тычинок созревают пыльцевые зерна – мужские гаметофиты, а в семязачатках пестика – зародышевые мешки – женские гаметофиты. Перенос созревших пыльцевых зерен (пыльцы) с тычинок цветка на рыльце пестика осуществляется в результате процесса *опыления*. После опыления и прорастания пыльцевого зерна в пыльцевую трубку, проникающую внутрь семязачатка, происходит *двойное оплодотворение* – слияние ядер (яйцеклетки и центрального ядра) зародышевого мешка и двух спермиев (рис. 126). В результате двойного оплодотворения из семязачатка цветка формируется семя, а из стенок завязи или других частей цветка – околоплодник плода. Созревшие плоды и семена распространяются разными способами, что обеспечивает расселение покрытосеменных растений.

Многоклеточные грибы, например, шляпочные, размножаются бесполом путем при помощи спор или разрастанием грибницы, образованной гифами. Многочисленные споры формируются в плодовых телах шляпочных грибов, развивающихся на грибнице. Из спор образуются гифы новой грибницы (рис. 127).

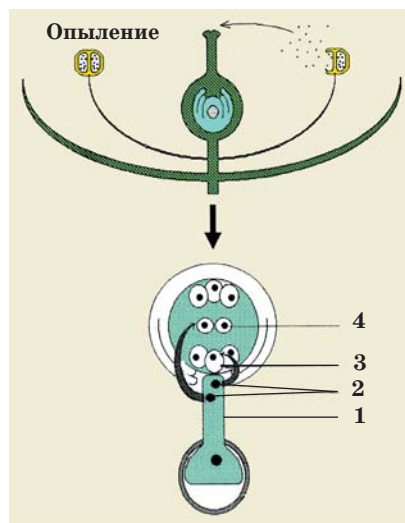


Рис. 126. Схема опыления и двойного оплодотворения у цветковых растений: 1 – пыльцевая трубка; 2 – спермии; 3 – яйцеклетка; 4 – центральное ядро



Рис. 127. Строение шляпочного гриба



Рис.128. Бесполое размножение пресноводной гидры – почкование

Размножение многоклеточных животных и человека. Большинство многоклеточных животных и человек размножаются половым путем. Вместе с тем, у некоторых животных, наряду с половым встречается и бесполое размножение (рис. 128). Например, пресноводная гидра и коралловые полипы способны к почкованию, а плоские черви планарии – к фрагментации – распаданию тела на части-фрагменты.

Половые клетки у многоклеточных животных развиваются в результате гаметогенеза, происходящего в органах половой системы – *половых железах*. Органы размножения самцов представлены парными половыми железами – *семенниками*, в которых развиваются сперматозоиды (рис. 129, 1). Органы размножения самок – парные половые железы – *яичники*, в которых развиваются яйцеклетки (рис. 129, 2). Организмы могут быть раздельнополыми и обоеполыми. У обоеполых животных (гермафродитов) образуются одновременно мужские и женские половые клетки.

Процесс слияния ядра сперматозоида с ядром яйцеклетки называют *оплодотворением* (рис. 130). При этом образуется зигота – оплодотворенная яйцеклетка, в ядре которой объединен генетический материал обоих родителей. Оплодотворение у животных бывает не только внутренним, но и наружным. При наружном оплодотворении, характерном для водных живот-

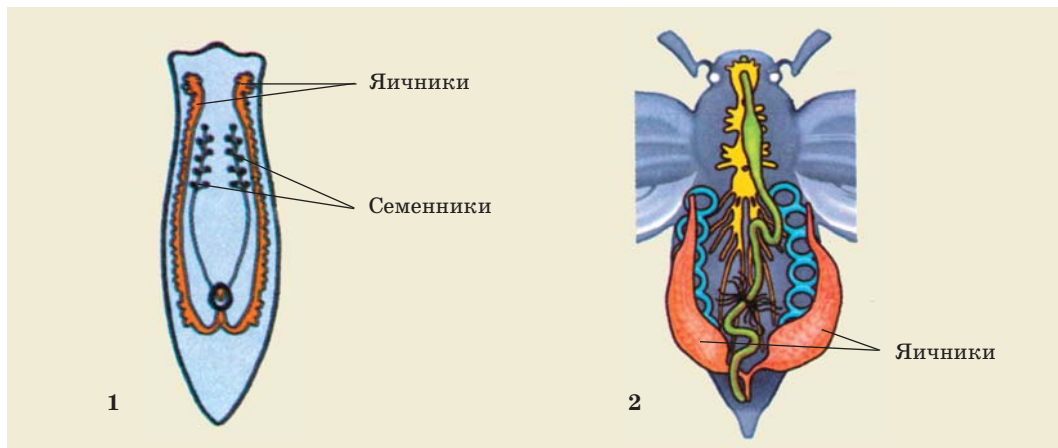


Рис. 129. Половые системы планарии (1) и майского жука (2)

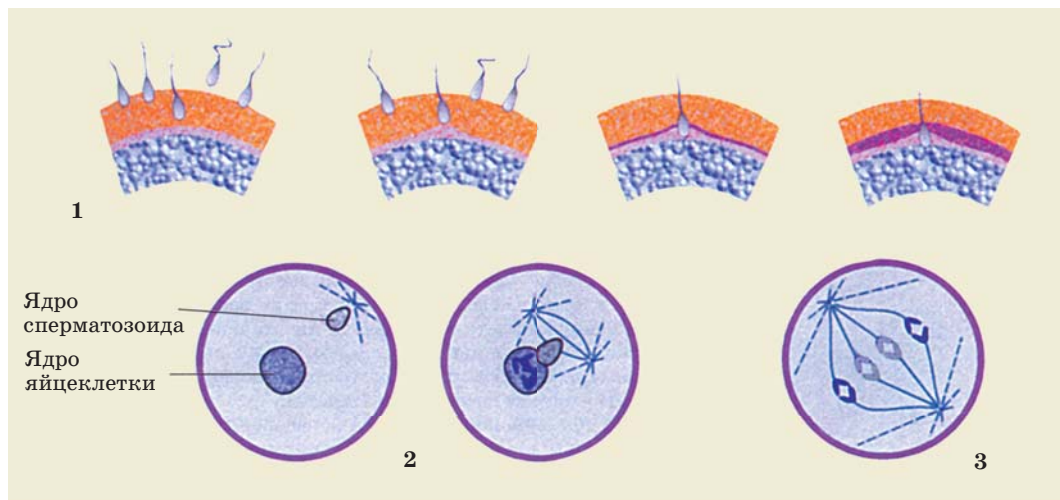


Рис. 130. Оплодотворение у животных: 1 – проникновение головки сперматозоида через оболочку яйцеклетки; 2 – слияние ядер сперматозоида и яйцеклетки; 3 – начало первого деления зиготы

ных, например рыб и земноводных, самки выметывают икру (яйцеклетки), а самец – сперму во внешнюю среду, где и происходит оплодотворение. У животных с наружным оплодотворением число производимых яйцеклеток значительно больше, чем у животных с внутренним оплодотворением. В последнем случае образование зиготы происходит в половых путях самки. Затем самка может откладывать яйца или рожать сформировавшийся новый организм.



Размножение: бесполое, половое; клон, зигота; деление, почкование, споруляция, фрагментация, вегетативное размножение; семенное размножение, опыление, двойное оплодотворение; половые железы: семенники, яичники; оплодотворение.



1. Дайте определение процессу размножения организмов? 2. Какие формы и способы размножения организмов встречаются в природе? Как их использует человек в своей хозяйственной деятельности? 3. Какими способами размножаются одноклеточные организмы? 4. В чем сходство и различие бесполого размножения растений и животных? 5. В чем сходство и различие полового размножения растений и животных? 6. Где и как происходит развитие половых клеток у животных? 7. Что такое оплодотворение? Каким оно бывает?

§ 23.

РОСТ И РАЗВИТИЕ ОРГАНИЗМОВ

Рассмотрите рисунки 131–135. Каким образом растут изображенные на рисунках организмы? С какими процессами связан их рост и развитие?

Рост организма определяется как увеличение его величины и массы. У одноклеточных организмов рост ограничен соотношением площади поверхности и объема клетки. У многоклеточных организмов рост начинается с одной клетки, от которой в процессе индивидуального развития – *онтогенеза* – образуются другие клетки, ткани и органы.

Рост и развитие многоклеточных растений. В основе роста многоклеточных растений лежит деление клеток с последующим увеличением их размеров. У низших растений (водорослей) все клетки способны делиться. Их рост происходит равномерно во всех направлениях. У высших растений к делению способны только клетки образовательной ткани. Поэтому они растут отдельными участками органов (точками роста), в которых эта ткань расположена.

Рост растения в длину может быть вершущечным и вставочным. Например, корень и побег растут благодаря делению клеток вершущечной образовательной ткани, расположенной в зоне деления (рис. 131). У пшеницы, кукурузы, бамбука такая ткань отсутствует. Их рост происходит путем вытягивания междоузлий, в которых находится вставочная образовательная ткань. В толщину растение растет в результате деления клеток боковых образовательных тканей. Например, в корнях и стеблях многолетних древесных растений хорошо выражен *камбий* (от позднелат. *cambium* – обмен, смена), от деления клеток которого образуются клетки луба и древесины (рис. 132).

Большинство вегетативных органов растений обладают *неограниченным ростом*, т.е. растут в течение всей жизни. Другая особенность роста растений – его ритмичность, т.е. чередование процессов интенсивного и замедленного роста. Так, деятельность клеток образовательной ткани замедляется к осени, а весной деление возобновляется.

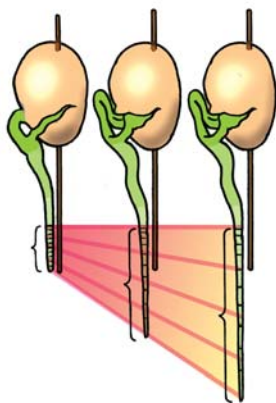


Рис. 131. Опыт, доказывающий вершущечный рост корня. Метки, нанесенные на одинаковом расстоянии раздвигаются на верхушке корня, в которой расположена зона деления и зона растяжения

► В индивидуальном развитии (онтогенезе) растения выделяют несколько периодов. Рассмотрим их на примере цветкового растения (рис. 133). Первый период – зародышевый, начинается с образования зиготы и продолжается до прорастания семени. Второй период – от прорастания до цветения — называют вегетативным, так как в развитии растения преобладают процессы роста вегетативных органов. Третий период – генеративный, или период зрелости: растение цветет, образует и распространяет семена и плоды. В четвертом (заключительном) периоде онтогенеза растения преобладают процессы отмирания органов – это период старости. Завершается этот период смертью растения. ◀

Рост и развитие многоклеточных животных и человека. По характеру роста всех многоклеточных животных можно разделить на две группы – с неограниченным ростом и ограниченным. Животные с неограниченным ростом (моллюски, рыбы, земноводные, пресмыкающиеся), как и растения, растут в течение всей жизни. Животные с ограниченным ростом (насекомые, птицы, млекопитающие) растут на определенном этапе своего развития. На рост животных влияют обеспеченность пищей, температура, влажность воздуха (для наземных животных), соленость воды (для водных животных) и другие условия окружающей среды. Регуляция роста осуществляется с помощью гормонов.

Индивидуальное развитие (онтогенез) животных и человека подразделяется на два периода – зародыше-

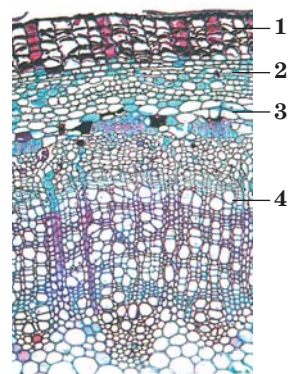


Рис. 132. Поперечный срез стебля дерева: 1 – кора; 2 – луб; 3 – камбий; 4 – древесина



Рис. 133. Стадии развития цветкового растения

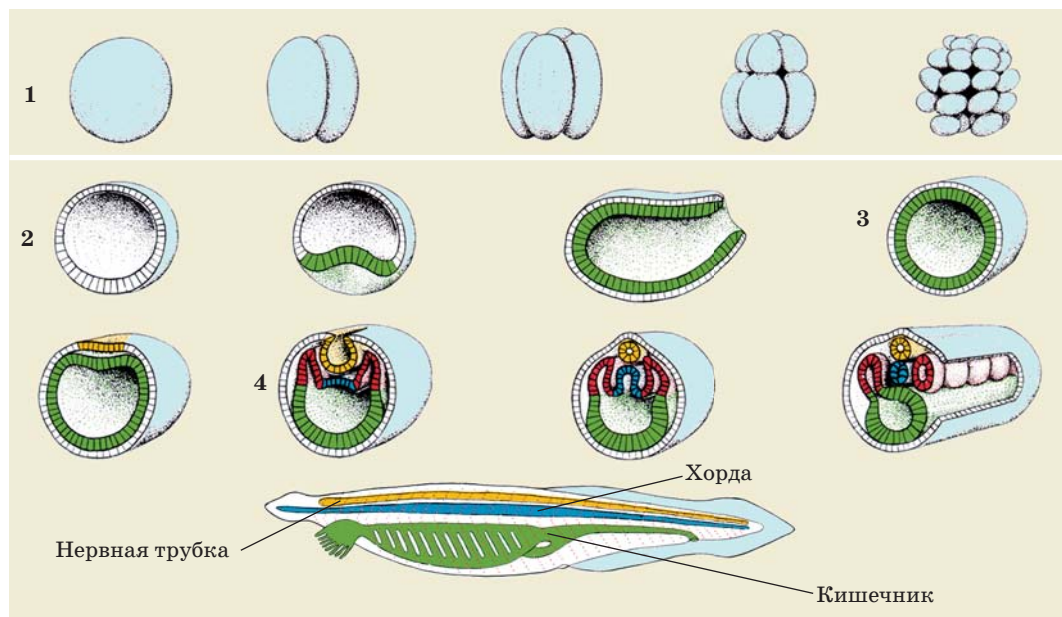


Рис. 134. Стадии зародышевого развития хордового животного (ланцетника): 1 – дробление; 2 – бластула; 3 – гастроула; 4 – органогенез

вый и послезародышевый. *Зародышевый период* длится от момента образования зиготы до выхода зародыша из яйца или рождения и протекает в несколько этапов (рис. 134). Оплодотворенное яйцо многократно делится митозом – происходит *дробление*. Оно заканчивается образованием *бластулы* (от греч. *blastys* – зачаток) — зародышевого пузырька с одним слоем клеток и полостью внутри. После бластулы наступает стадия *гастроулы* (от греч. *gaster* – желудок). Она представляет собой двухслойный зародыш, образование которого начинается с впячивания нижней стенки бластулы внутрь полости. В результате формируются два *зародышевых листка*: наружный – *эктодерма* и внутренний – *энтодерма*.

На стадии гастроулы заканчивается развитие у низших животных (например, у гидры). У более высокоорганизованных происходит образование третьего зародышевого листка – *мезодермы*. Последующее развитие зародыша связано с формированием из зародышевых листков органов будущего организма – поэтому эта стадия называется *органогенезом*.

Из эктодермы развиваются эпидермис кожи и ее производные (ногти, волосы), а также нервная система и органы чувств. Из энтодермы образуются слизистый и железистый эпителии, органы пищеварения и дыхания. Из мезодермы формируются мышечная и соединительная ткань животных, из которых у большинства хордовых образуется хрящевой или костный скелет, мышцы, кровеносные сосуды, сердце, почки и органы половой системы.

В *послезародышевом периоде* развития животных выделяют стадии молодости, зрелости и старости, которая заканчивается смертью.

Развитие после рождения или выхода из яйцевых оболочек у животных может быть прямым и непрямым. Прямое развитие происходит без превращения. Родившийся организм имеет сходство с взрослой особью и отличается от нее только величиной, пропорциями тела и недоразвитием некоторых органов. Такое развитие происходит у рыб, пресмыкающихся, птиц и млекопитающих. При непрямом развитии, т.е. развитии с превращением, или *метаморфозом* (от греч. *metamorphosis* – превращение), из яйца выходит личинка, непохожая на взрослую особь, как по внешним признакам, так и по образу жизни (рис. 135). Непрямое развитие характерно для насекомых и земноводных.

Жизненные циклы организмов. Совокупность всех стадий развития, от одного поколения до другого, называют *жизненным циклом организма*. Различают простые и сложные жизненные циклы.

Простые жизненные циклы характерны для одноклеточных организмов, рыб, пресмыкающихся, птиц и млекопитающих. Например, одноклеточная водоросль хламидомонада в определенный период своей жизни образует гаметы. После их слияния формируется зигота, из которой в результате мейоза развиваются споры, дающие начало новому поколению (рис. 136, 1). У большинства позвоночных животных гаметы созревают в половых органах в результате мейоза. Затем, сливаясь, они образуют зиготу – начальную стадию развития нового организма.

Сложные жизненные циклы характеризуются чередованием бесполого и полового поколений (у растений), наличием личиночных стадий (у животных).



Рис. 135. Послезародышевое не прямое развитие бабочки: 1 – яйцо; 2 – личинка (гусеница); 3 – куколка; 4 – взрослое насекомое

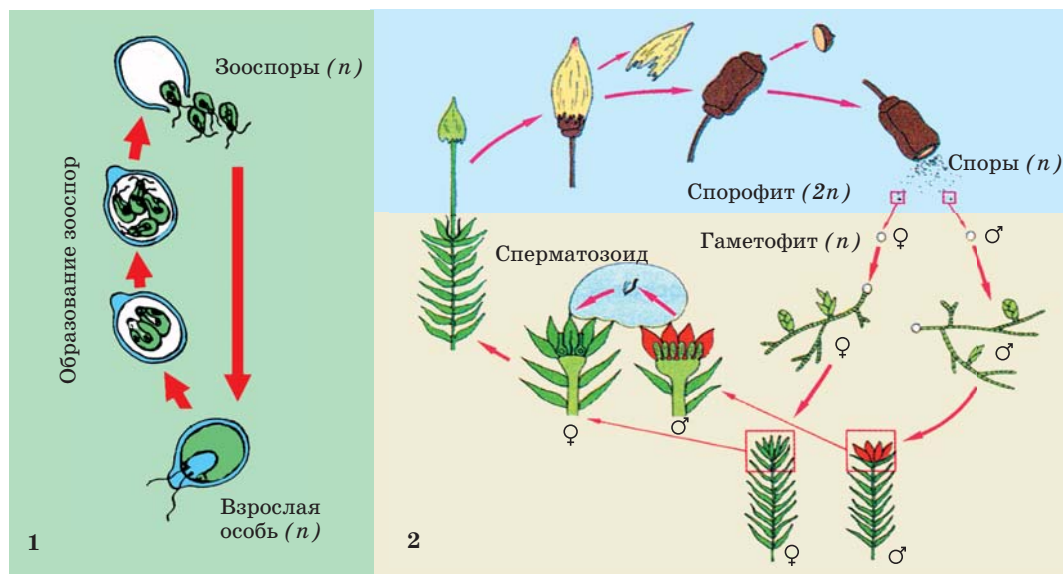


Рис. 136. Жизненные циклы организмов: 1 – простой (хламидамонада); 2 – сложный (мох кукушкин лён)

Например, у мхов в жизненном цикле преобладает половое поколение – гаметофит, образующий половые клетки (рис. 136, 2), а у папоротников, плаунов, хвощей, голосеменных и покрытосеменных растений – бесполое поколение, или спорофит.

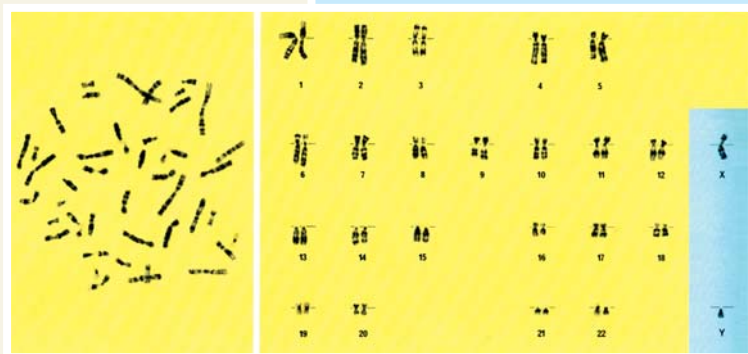
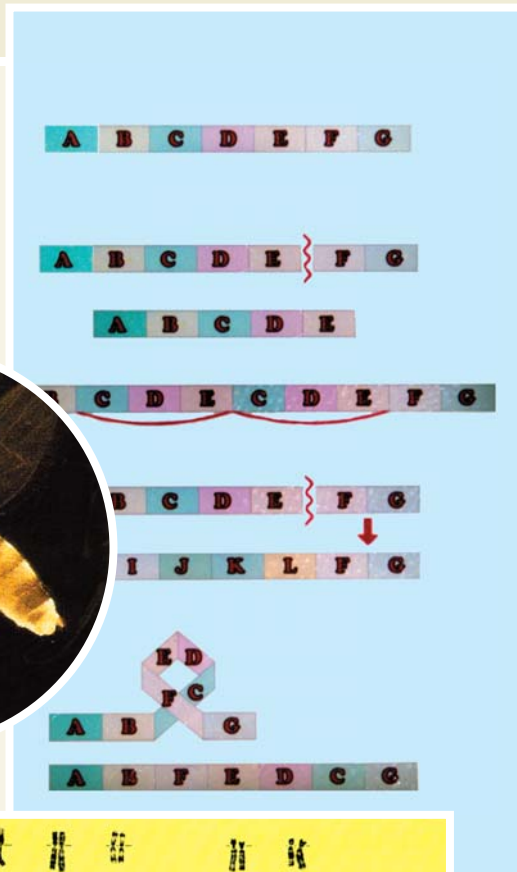


Рост: неограниченный, ограниченный; камбий, онтогенез (индивидуальное развитие); периоды развития животных: зародышевый (дробление, бластула, гаструла, органогенез), послезародышевый; метаморфоз; зародышевые листки: эктодерма, мезодерма, энтодерма; жизненный цикл организма: простой, сложный.



1. Что такое рост организма? Какие процессы лежат в его основе? 2. Каким образом происходит рост органов растения? ► 3. Какие периоды выделяют в индивидуальном развитии цветкового растения? ◄ 4. Как осуществляется рост у многоклеточных животных? 5. Из каких стадий состоит зародышевый период развития позвоночных животных? Охарактеризуйте каждую из стадий. 6. Чем прямое послезародышевое развитие животных отличается от непрямого? Приведите примеры организмов с прямым и непрямым развитием. 7. Что такое жизненный цикл? В чем отличие простого жизненного цикла от сложного? Используя рис. 136, расскажите о жизненных циклах водоросли и мха.

НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОРГАНИЗМОВ



§ 24.

ГЕНЕТИКА КАК НАУКА

Вспомните, что такое наследственность и изменчивость. Из каких химических веществ состоит ген? Где располагаются гены организма?



Рис. 137. Грегор Иоганн Мендель (1822–1884)

Человек всегда пытался разгадать тайну наследственности, причину сходства родителей и детей, передачи из поколения в поколение отдельных признаков. С давних времен, выращивая культурные растения и домашних животных, люди обращали внимание на проявление определенных признаков у каждого сорта или породы. В середине XIX в. были предприняты попытки установления природы этих явлений.

Зарождение и развитие генетики. Первым шагом к научному изучению наследственных свойств организмов стали исследования чешского ученого Г. Менделя (рис. 137). В течение нескольких лет он проводил опыты на посевном горохе, наблюдая характер наследования отдельных признаков, математически обрабатывая каждый полученный результат. Им было установлено, что наследственность у организмов имеет дискретный характер и связана с передачей от родителей потомству материальных единиц наследственности – наследственных факторов. Результаты своей работы Мендель опубликовал в книге «Опыты над растительными гибридами» (1865). Однако открытые им закономерности наследственности не были востребованы 35 лет. Лишь в 1900 г. ученые К. Корренс (Германия), Э. Чермак (Австрия) и Г. Де Фриз (Голландия) независимо друг от друга вновь открыли те же закономерности. Поэтому начало XX в. считается официальной датой рождения генетики, но выявленные закономерности наследственности носят имя их первооткрывателя – Г. Менделя.

Генетика (от греч. *genesis* – происхождение) – наука о закономерностях наследственности и изменчивости организмов. К началу XX в. было установлено, что материальными носителями наследственности служат хромосомы. По предложению датского ученого В. Иоганнсена единицы наследственности были названы генами. Исследования американского ученого Т. Мор-

гана позволили расширить представления о генах, их локализации в хромосомах, характере наследования признаков. После ряда экспериментов на плодовой мушке дрозофиле были открыты новые закономерности наследственности и сформулирована хромосомная теория наследственности.

Бурное развитие генетики во второй половине XX в. было обусловлено изучением структуры ДНК. В 40-х гг. ученые установили, что передача наследственной информации связана с нуклеиновыми кислотами, в частности с ДНК. Была опровергнута теория неизменности генов. Началось изучение наследственности на молекулярном уровне. В качестве объекта исследования были выбраны бактерии, имеющие одну кольцевую молекулу ДНК. Это давало возможность проследить, как изменяются внешние признаки организма при изменении его наследственной природы. В последующие годы генетика стала основой для возникновения новой отрасли биологии – генной инженерии, связанной с направленным изменением структуры генов у организмов. Знание генетических законов в настоящее время ученые с успехом используют для изучения наследственных заболеваний у человека, разработки методов их диагностики и лечения, а также в селекции культурных форм организмов для улучшения существующих сортов, пород и выведения новых.

Основные генетические понятия. *Наследственность* – способность организма сохранять и передавать потомству генетическую информацию, признаки и особенности развития. Благодаря наследственности организмы сохраняют свои свойства в поколениях.

Материальной основой наследственности служит *ген* – участок молекулы ДНК. Реализация признака у организма идет по схеме:

ГЕН → БЕЛОК → ПРИЗНАК (ФЕН)

Генотип (от *ген* и греч. *typos* – отпечаток) – совокупность всех наследственных задатков организма – генов, полученных от родителей.

Фенотип (от греч. *phaino* – являю, обнаруживаю) – совокупность всех признаков организма, проявляющихся в процессе его индивидуального развития как результат взаимодействия генотипа организма и окружающей среды.



Рис. 138. Некоторые доминантные и рецессивные признаки организмов: 1 – красные (AA, Aa) и белые (aa) цветки у львиного зева; 2 – свободная (BB, Bb) и сросшаяся (bb) мочка уха у человека

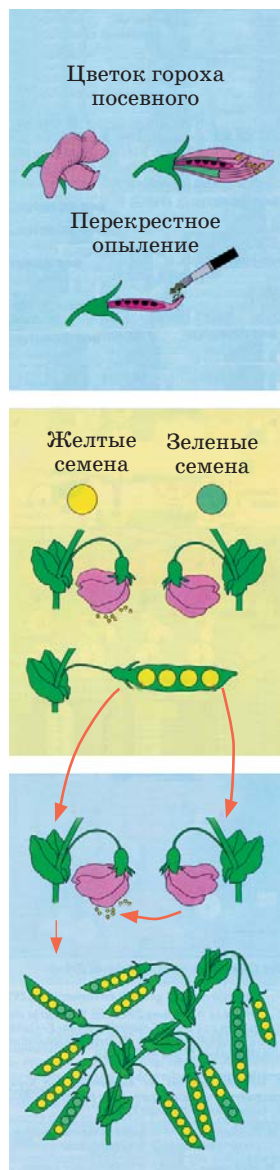


Рис. 139. Гибридологический метод, примененный Г. Менделем в изучении закономерностей наследования признаков у гороха посевного

Гены располагаются в хромосомах в определенных участках – *локусах* (от лат. *locus* – место). Парные гены, расположенные в одних и тех же локусах гомологичных хромосом и ответственные за проявление различных вариантов одного признака, называются *аллельными генами* (*аллели*). Аллельные гены могут нести одинаковые или альтернативные (противоположные) качества одного признака. Например, темная или светлая окраска волос, голубые или карие глаза, желтая или зеленая окраска семян гороха. Аллельные гены обозначаются одинаковыми буквами латинского алфавита: *A* или *a*, *B* или *b*, *C* или *c* и т.д. У организмов с диплоидным набором хромосом аллели всегда парные. Аллельные гены (признаки) могут быть доминантными и рецессивными (рис. 138).

Гомозигота – это организм (зигота), имеющий одинаковые аллели одного гена в гомологичных хромосомах (*AA* или *aa*). *Гетерозигота* – это организм (зигота), имеющий разные аллели одного гена в гомологичных хромосомах (*Aa*), т.е. отвечающие за проявление альтернативных признаков.

Доминантный признак (ген) – господствующий, преобладающий признак, проявляется всегда, как в гомозиготном, так и в гетерозиготном состоянии. Доминантный признак обозначается прописными буквами латинского алфавита: *A*, *B*, *C* и т.д.

Рецессивный признак (ген) – подавляемый признак, проявляется только в гомозиготном состоянии, при наличии двух одинаковых рецессивных аллелей. Он обозначается соответствующей строчной буквой латинского алфавита: *a*, *b*, *c* и т.д. В гетерозиготном состоянии рецессивный признак может полностью или частично подавляться доминантным.

Методы генетики. Для изучения закономерностей наследственности и изменчивости ученые-генетики используют различные методы.

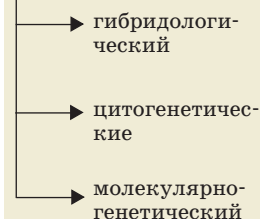
Гибридологический метод – это скрещивание различных по своим признакам организмов с целью изучения характера наследования признаков в потомстве (рис. 139). Организмы, гомозиготные по одному или нескольким признакам, получаемые от одной самоопыляющейся или самооплодотворяющейся особи и не дающие в потомстве иных признаков, называют

чистой линией. Организмы, полученные от скрещивания двух чистых линий, называют *гибридами* (от лат. *hibrida* – помесь). Для получения статистически достоверных результатов опыты с гибридами проводятся в нескольких повторях и анализируется достаточно большое количество потомков.

Цитогенетические методы основаны на анализе кариотипа особей, изучении структуры хромосом, их количества в клетках, поведения в процессе мейоза. Цитогенетические методы позволили объяснить закономерности наследования, выявленные с помощью гибридологического метода, а также позволили сформулировать хромосомную теорию наследственности.

Молекулярно-генетический метод позволяет изучить структуру генов и их число. С помощью этого метода можно установить нуклеотидную последовательность самих генов, генные аномалии, определить *генóм организма* – последовательность генов в молекулах ДНК гаплоидного набора хромосом. Исследования на молекулярном уровне позволят в будущем открыть еще неизвестные генетические закономерности, лежащие в основе организации геномов организмов, помогут решить задачи в области медицины, селекции.

МЕТОДЫ ГЕНЕТИКИ



Генетика, ген, генотип, фенотип; локусы; аллельные гены (аллели); гомозигота, гетерозигота; признаки (гены: доминантный и рецессивный; методы генетики: гибридологический, цитогенетические, молекулярно-генетический; чистая линия, гибрид.



1. В чем основная заслуга открытий Г. Менделя? 2. Перечислите основные направления развития современной генетики. 3. Что такое чистая линия и гибрид? 4. Какие методы используют ученые-генетики для своих исследований? 5. Что такое аллельные гены (аллели)? Почему аллельные гены имеются только в диплоидных организмах? 6. В чем отличие генотипа организма от его фенотипа? 7. Какие признаки называют доминантными, а какие – рецессивными? Приведите примеры доминантных и рецессивных признаков организмов. 8. Какие особи называют гомозиготами, а какие – гетерозиготами? Напишите гомозиготный и гетерозиготный генотипы для пары аллельных генов *D* и *d*.



Используя справочную литературу и Интернет, выясните основные направления современных исследований в генетике. Результаты работы оформите в виде проекта.

§ 25.

МОНОГИБРИДНОЕ СКРЕЩИВАНИЕ

Рассмотрите рисунок 140. Какой из признаков у гороха посевного – рецессивный, а какой доминантный? Вспомните, как расходятся гомологичные хромосомы в мейозе.

Закономерности наследования были установлены Г. Менделем благодаря разработанному и введенному им в науку гибридологическому методу. Первоначально для своих опытов Мендель выбрал две чистые линии гороха посевного, различающиеся только по одной паре признаков. Скрещивание особей, различающихся по одной паре признаков, называется *моногибридным скрещиванием*.

Доминирование признаков. В первом опыте две чистые линии гороха посевного отличались цветом семян – желтые и зеленые, т.е. имели альтернативные признаки. В результате первого скрещивания гибридное потомство оказалось все одинаковое по фенотипу и имело желтую окраску семян, т.е. было похоже на одного из родителей. Желтый цвет семян оказался доминантным (А). Другой признак – зеленый цвет – оказался рецессивным (а) и не проявился у гибридов, так как был подавлен доминантным геном (рис. 140).

Составим схему скрещивания.

Для записи схемы скрещивания в генетике используются специальные обозначения и символы.

Родительские особи	P	Гаметы	G
Первое поколение гибридов	F ₁	Доминантные аллели	A, B, C и др.
Второе поколение гибридов	F ₂	Рецессивные аллели	a, b, c и др.

Поскольку исходные родительские формы имеют диплоидный набор хромосом и гомозиготны, то их генотипы соответственно обозначаются – AA и aa. Каждый родитель образует только один тип гамет.

Итак, все гибриды первого поколения оказались с семенами желтого цвета по фенотипу и имели одинаковый генотип Aa . На основании результатов скрещивания Г. Мендель вывел первый закон – закон единообразия гибридов первого поколения.

При скрещивании двух гомозиготных особей с альтернативными признаками в первом поколении все гибриды одинаковы по фенотипу и похожи на одного из родителей.

Расщепление признаков. В следующем опыте Мендель скрестил между собой полученные гибриды первого поколения с генотипами Aa (рис. 140). Они образовали гаметы двух типов A и a . Для удобства анализа результатов принято использовать решетку, предложенную ученым Пеннетом. По вертикали записывают гаметы женской особи, а по горизонтали – мужской. В местах пересечений записывают генотипы зигот, полученных в результате случайного оплодотворения.

При слиянии гамет попарно образуются четыре варианта зигот. Из них одна часть имеет генотип AA , две части имеют генотип Aa , а еще одна часть – генотип aa . Все особи с геном A по фенотипу желтые ($3/4$ части), так как доминантный ген проявляется как в гомозиготном, так и в гетерозиготном состоянии. Особи с генотипом aa имеют зеленую окраску семян ($1/4$ часть), так как рецессивный признак проявляется только в гомозиготном состоянии. Во втором поколении произошло расщепление признаков в соотношении $3 : 1$.

Мендель провел большое число опытов (табл. 10). На их основании он изучил характер наследования других признаков у гороха посевного. Во всех случаях во втором поколении происходило расщепление признака – проявлялся рецессивный признак.

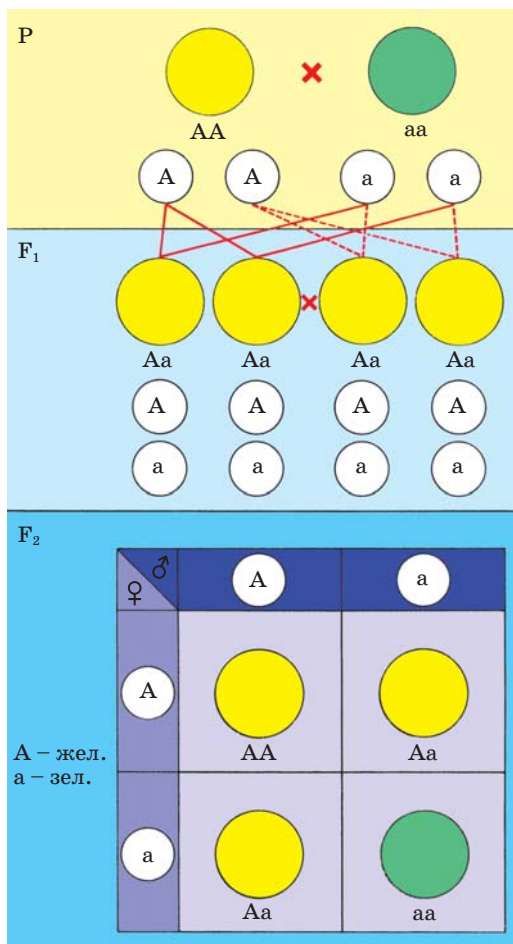


Рис. 140. Моногибридное скрещивание у гороха посевного

Результаты экспериментов Г. Менделя на горохе посевном

Признаки родительских особей	Доминантные признаки	Рецессивные признаки	Количество особей поколения F ₂		Соотношение доминантных и рецессивных особей
Окраска семян	Желтые	Зеленые	6022	2001	3,01 : 1
Форма семян	Гладкие	Морщинистые	5474	1850	2,96 : 1
Форма плодов	Плоские	Выпуклые	882	299	2,95 : 1
Высота стебля	Высокий	Низкий	787	277	2,84 : 1
Окраска цветков	Красные	Белые	705	224	3,15 : 1
Цветки на побеге	Пазушные	Верхушечные	651	207	3,14 : 1

На основании полученных результатов Г. Мендель вывел второй закон – *закон расщепления признаков*.

При скрещивании двух гетерозиготных гибридов первого поколения во втором поколении наблюдается расщепление признаков по фенотипу в соотношении 3 : 1, по генотипу – 1 : 2 : 1.

Цитологические основы моногибридного скрещивания. Наблюдая расщепление признаков у гибридов второго поколения Мендель сделал вывод, что рецессивный ген не утрачивается и не растворяется, а лишь подавляется у гибридов в гетерозиготном состоянии. При переходе в гомозиготное состояние рецессивный ген вновь проявляется в виде признака. Эту закономерность Мендель назвал *гипотезой чистоты гамет*. Это значит, что гены не смешиваются и не исчезают, а наследуются в чистом виде.

Цитологическое обоснование гипотезы было дано значительно позднее, когда были открыты хромосомы и изучены процессы деления клетки (рис. 141). Установлено, что в основе законов наследования лежит поведение хромосом в мейозе: гомологичные хромосомы в процессе мейоза попадают в разные гаметы. У родительских особей в гомологичных хромосомах имеются гены, отвечающие за окраску семян. У гомозиготных особей гомологичные хромосомы имеют одинаковые аллели данного гена, поэтому эти организмы образуют один тип гамет по данному гену. При их слиянии в зиготу попадают гомологичные хромосомы с альтернативными генами, поэтому все полученные потомки яв-

ляются гетерозиготными гибридами с генотипом Aa . В фенотипе же проявляется только доминантный признак. Рecessивный ген a не исчезает, а лишь подавляется доминантным геном A . У гибридов первого поколения образуется два типа гамет. При оплодотворении происходит произвольное слияние гамет, и образуются четыре варианта зигот с генотипами: AA , $2Aa$, aa . В фенотипе проявляются только два признака, причем потомков с доминантным признаком в три раза больше, чем с рецессивным признаком.

► **Полное и неполное доминирование.** В рассмотренном выше опыте Менделя ген желтой окраски семян полностью подавил проявление гена зеленой окраски. Гетерозиготные особи имели такой же фенотип, как и гомозиготные особи по доминантному признаку. В данном случае имело место *полное доминирование* признака. Однако доминантный ген не всегда полностью подавляет рецессивный, поэтому возможно появление промежуточного признака. Так, при скрещивании двух чистых линий растения ночной красавицы с красными и белыми цветками гибриды оказываются с розовыми цветками (рис. 142). Происходит *неполное доминирование* признака окраски, красный цвет лишь частично подавляет белый. Во втором поколении расщепление признаков по фенотипу и генотипу совпадает.

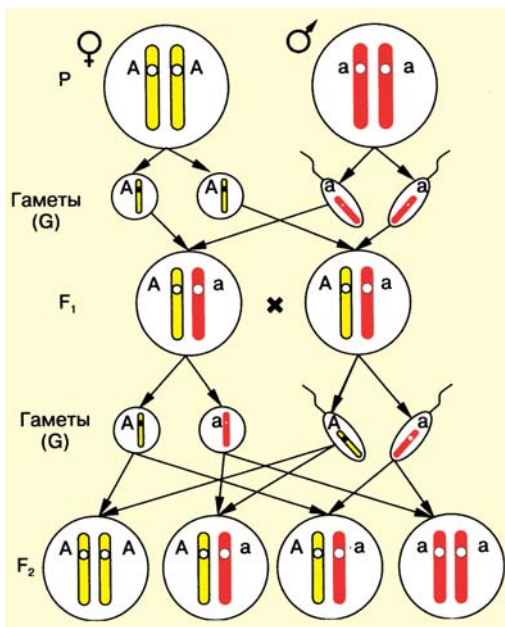


Рис. 141. Цитологические основы законов единообразия и расщепления при моногибридном скрещивании

P	RR	×	rr
	красные цветки		белые цветки
G	(R)		(r)
F_1	Rr		
	розовые цветки		
P_1	Rr	×	Rr
	розовые цветки		розовые цветки
G	$(R)(r)$		$(R)(r)$

Расщепление по генотипу в F_2 : $1 RR : 2 Rr : 1 rr$

Расщепление по фенотипу в F_2 : 1 (красные) : 2 (розовые) : 1 (белые)

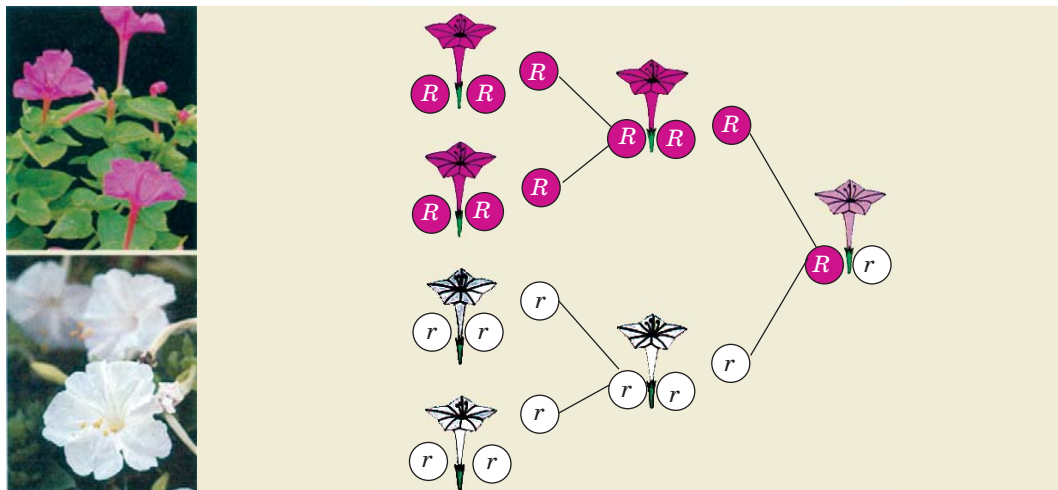


Рис. 142. Неполное доминирование у ночной красавицы

У человека неполное доминирование наблюдается при наследовании формы волос. Гомозиготы по доминантному признаку (CC) имеют курчавые волосы, а гомозиготы по рецессивному признаку (cc) – прямые волосы. У гетерозигот (Cc) в результате неполного доминирования появляется промежуточный признак – волнистые волосы. ◀



Моногибридное скрещивание, закон единообразия гибридов первого поколения, закон расщепления признаков, гипотеза чистоты гамет; ▶ доминирование: полное, неполное. ◀



1. Почему закон единообразия соблюдается при скрещивании чистых линий только в первом поколении? 2. Объясните, почему у гибридов первого поколения происходит расщепление признаков. 3. Используя свои знания о поведении гомологичных хромосом в мейозе, объясните причину расщепления признаков во втором поколении. ▶ 4. В чем отличие наследования признаков при полном и неполном доминировании? Приведите примеры. ◀



Решите задачу. При скрещивании рыб барбусов с простой и золотистой окраской все потомки имели простую окраску. Определите доминантный и рецессивный признак, генотипы родителей и гибридов первого поколения. Какие признаки будут иметь потомки второго поколения, полученные при скрещивании гибридов первого поколения?

§ 26.

ДИГИБРИДНОЕ СКРЕЩИВАНИЕ

Рассмотрите рисунок 143. Каким образом наследуются доминантный и рецессивный признаки у гороха посевного? Вспомните, как расходятся негомологичные хромосомы в мейозе.

Исследовав закономерности наследования одной пары признаков, Г. Мендель поставил новую задачу – установить, зависит ли наследование одного признака от другого. *Дигибридное скрещивание* – это скрещивание особей, отличающихся по двум парам признаков. В качестве парных признаков он выбрал окраску и форму семян гороха посевного.

Независимое комбинирование признаков. Для опыта, также как и при моногибридном скрещивании, были взяты гомозиготные родительские особи гороха, отличающиеся по двум парам признаков: окраске семян (желтые и зеленые) и форме семян (гладкие и морщинистые). В результате скрещивания двух чистых линий гибриды первого поколения оказались все одинаковыми – с желтыми гладкими семенами и были похожи на одного из родителей (рис. 143). Желтый

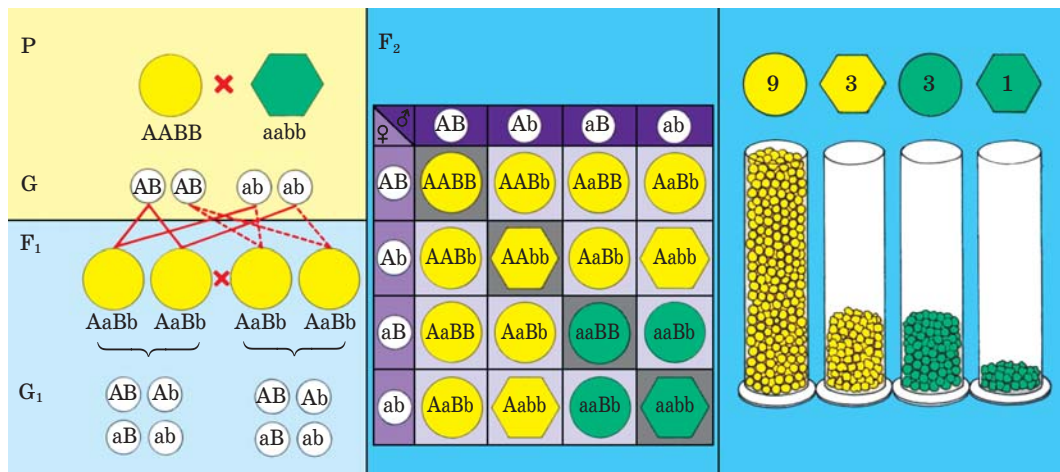


Рис. 143. Дигибридное скрещивание у гороха посевного

цвет и гладкая форма семян оказались доминантными признаками. Закон единообразия первого поколения соблюдался и в случае дигибридного скрещивания.

Обозначим признак окраски семян буквами A – желтые и a – зеленые, а форму семян гороха буквами B – гладкие и b – морщинистые. Составим схему скрещивания.

$$\begin{array}{rcccl}
 \text{P} & & AABV & \times & aabb \\
 & & \text{желтые гладкие} & & \text{зеленые морщинистые} \\
 & & \text{семена} & & \text{семена} \\
 \\
 \text{G} & & (AB) & & (ab) \\
 \text{F}_1 & & AaBb & & \\
 & & \text{желтые гладкие семена} & &
 \end{array}$$

Так как исходные родительские особи гомозиготны по обоим признакам, то их генотипы соответственно будут $AABV$ и $aabb$. Каждая гомозиготная особь дает только один тип гамет: соответственно AB и ab . В первом поколении все особи единообразны и имеют одинаковый генотип $AaBb$, а фенотип гибридов – желтые гладкие горошины.

Для следующего скрещивания были взяты гибриды первого поколения. Они – гетерозиготны и образуют четыре типа гамет. Для определения всех возможных при оплодотворении комбинаций гамет и генотипов, которые могут образоваться в этом случае у гибридов второго поколения, построим решетку Пеннета.

$$\begin{array}{rcccl}
 \text{P}_1 & & AaBb & \times & AaBb \\
 & & \text{желтые гладкие семена} & & \text{желтые гладкие семена} \\
 \\
 \text{G}_1 & & (AB) & (Ab) & (aB) & (ab) & (AB) & (Ab) & (aB) & (ab) \\
 \text{F}_2 & & & & & & & & &
 \end{array}$$

♀ \ ♂	AB	Ab	aB	ab
AB	$AABB$	$AABb$	$AaBB$	$AaBb$
Ab	$AABb$	$AAbb$	$AaBb$	$Aabb$
aB	$AaBB$	$AaBb$	$aaBB$	$aaBb$
ab	$AaBb$	$Aabb$	$aaBb$	$aabb$



Рис. 144. Фенотипические группы семян гороха посевного, образовавшиеся в результате дигибридного скрещивания: 1 – желтые гладкие; 2 – зеленые гладкие; 3 – желтые морщинистые; 4 – зеленые морщинистые

Проанализируем генотипы гибридов второго поколения. Все особи с желтыми и гладкими семенами имеют в генотипе хотя бы по одному доминантному гену каждого признака: $A_B_$. Желтые морщинистые и зеленые гладкие семена в генотипе имеют только один доминантный ген какого-либо одного признака: A_bb желтые морщинистые семена, $aaB_$ зеленые гладкие семена. Наконец, в генотипе зеленых морщинистых семян содержатся только рецессивные гены: $aabb$.

Таким образом, при дигибридном скрещивании выделяются четыре фенотипические группы (рис. 144) в следующем соотношении:

$$9 A_B_ : 3 A_bb : 3 aaB_ : 1 aabb$$

Это соотношение называется фенотипическим радикалом дигибридного скрещивания и используется при решении задач. По фенотипу семян потомки распределились в следующем соотношении:

$$\begin{aligned} &9 \text{ желтых гладких} : 3 \text{ желтых морщинистых} : \\ &3 \text{ зеленых гладких} : 1 \text{ зеленый морщинистый.} \end{aligned}$$

В результате скрещивания образовались две новые фенотипические группы с новой комбинацией признаков: желтые морщинистые семена и зеленые гладкие семена. Соотношение числа особей по каждой паре признаков составляет $3 : 1$, как и при моногибридном скрещивании. Две пары признаков гороха – цвет и окраска семян – наследовались независимо друг от друга.

На основании результатов опыта по дигибриднему скрещиванию Г. Мендель вывел третий закон – закон независимого наследования признаков.

При скрещивании гибридов по двум парам признаков во втором поколении наследование по каждой паре идет независимо друг от друга. В результате образуются фенотипические группы в соотношении $9 : 3 : 3 : 1$, причем, появляются группы с новыми сочетаниями признаков.

ЗАКОНЫ ГЕНЕТИКИ

- закон единообразия гибридов первого поколения
- закон расщепления признаков
- закон независимого наследования признаков

Цитологические основы дигибридного скрещивания. Гены окраски и формы семян находятся в негомологичных хромосомах (рис. 145). В процессе мейоза в каждую половую клетку попадает по одной из каждой пары хромосом. У гомозиготных особей в процессе мейоза образуется только один тип гамет, содержащих по две негомологичные хромосомы с генами AB и ab . При оплодотворении диплоидный набор хромосом восстанавливается и генотип гибридов первого поколения составляет – $AaBb$. Гибридные особи дают четыре типа гамет со следующим сочетанием аллелей: AB , Ab , aB , ab , так как негомологичные хромосомы расходятся в мейозе произвольно, независимо друг от друга. Сливаясь попарно, эти гаметы образуют 16 вариантов зигот с разным сочетанием генотипов.

► **Анализирующее скрещивание.** Для выведения чистой линии, нового сорта растения или породы животных необходимо точно знать генотипы родителей по желаемому признаку. Генотип особи с рецессивным признаком устанавливается по фенотипу, так как рецессивный признак проявляется только в гомозиготном состоянии с генотипом aa . Особи с доминантными признаками при одинаковом фенотипе могут иметь разные генотипы: AA (гомозиготы) или Aa (гетерозиготы). Поэтому определить генотипы особей с доминантным признаком по фенотипу практически невозможно. В этом случае для выяснения генотипа проводится анализирующее скрещивание.

Анализирующее скрещивание – это скрещивание особи с доминантным признаком, но неизвестным генотипом, с гомозиготной по рецессивному признаку особью, генотип которой всегда aa . По результату скрещивания определяется генотип особи с доминантным признаком.

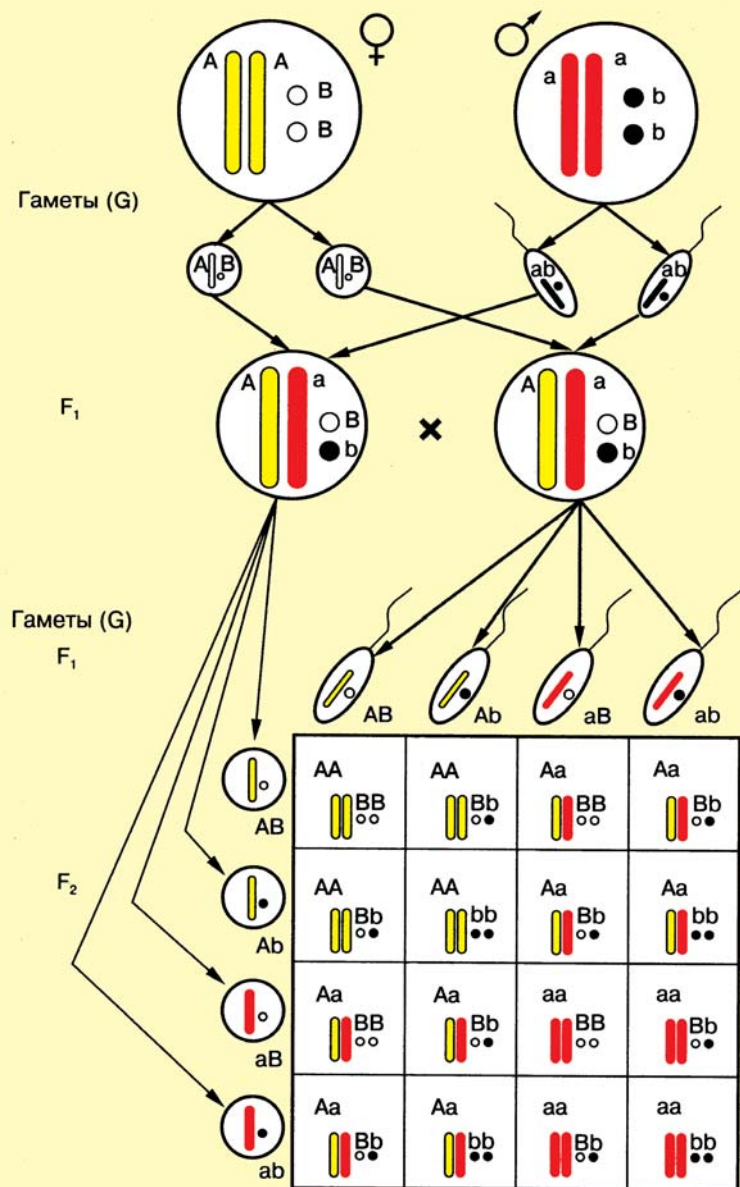


Рис. 145. Цитологические основы законов единообразия и независимого наследования признаков при дигибридном скрещивании

Если при скрещивании особи с доминантным признаком с рецессивной гомозиготной особью полученное потомство единообразно и имеет доминантный признак, то анализируемая родительская особь с доминантным признаком гомозиготна. При единообразии потомков каждая родительская особь дает только один тип гамет, следовательно, особь с доминантным признаком имеет генотип AA .

Если при скрещивании особи с доминантным признаком с рецессивной гомозиготой полученное потомство дает расщепление в соотношении $1 : 1$, то исследуемая особь с доминантным признаком дает два типа гамет, а следовательно, она гетерозиготна и имеет генотип Aa .

Схема анализирующего моногибридного скрещивания

P	Ax доминантный признак	×	aa рецессивный признак
G	$(A) (x)$		(a)
I	Единообразие F_1 Aa , то $x = A, Ax = AA$	II	Расщепление признаков F_1 $1 Aa : 1 aa$ то $x = a, Ax = Aa$

Рассмотрим теперь анализирующее скрещивание при дигибридном скрещивании. Если особь с доминантными признаками гомозиготна, то она образует один тип гамет. Если же особь с доминантными признаками гетерозиготна, то образуются четыре типа гамет и происходит расщепление признаков.

Схема анализирующего дигибридного скрещивания

P	$AxBy$ доминантный признак	×	$aabb$ рецессивный признак
G	$(AB) (Ay) (xB) (xy)$		(ab)
I	Если F_1 единообразно $AaBb$, то $x = A, y = B$ исходная особь гомозиготна, образует один тип гамет AB , имеет генотип $AABB$	II	Если в F_1 происходит расщепление признаков в соотношении $1 Aa Bb : 1 Aa yb : 1 xa Bb : 1 xa yb$, то $x = a, y = b$ исходная особь гетерозиготна, образует четыре типа гамет: AB, Ab, aB, ab имеет генотип $AaBb$



Дигибридное скрещивание, фенотипические группы, закон независимого наследования признаков; ► анализирующее скрещивание. ◀



1. Почему при дигибридном скрещивании наследование по каждой паре признаков идет независимо друг от друга? Объясните это явление, исходя из представлений о поведении хромосом в мейозе. 2. Будут ли признаки у организмов наследоваться независимо, если гены *A* и *B*, *a* и *b* расположены в одной хромосоме? Ответ обоснуйте. ► 3. С какой целью проводят анализирующее скрещивание? Почему для анализирующего скрещивания необходимо, чтобы одна из особей была гомозиготной по рецессивному признаку? ◀



Решите задачу. У человека некоторые формы близорукости доминируют над нормальным зрением, а цвет карих глаз – над голубыми. Гены этих признаков расположены в разных хромосомах. Какое потомство можно ожидать от брака близорукого кареглазого мужчины с голубоглазой женщиной с нормальным зрением? Определите все возможные генотипы родителей и потомства.



До открытий Г. Менделем законов наследственности многие века в представлениях о передаче признаков родителей потомству господствовала теория пангенеза. Согласно ей, основным носителем наследственности служило семя самцов, которое образуется во всех частях тела, а затем по кровеносным сосудам попадает через семенники в пенис. Сходство между родителями и потомством теория пангенеза объясняла тем, что семя, образуясь в различных частях тела, отражает характерные особенности строения каждой из них.

Первый серьезный вызов теории пангенеза был брошен немецким ученым Августом Вейсманом (1834–1914), который противопоставил ей теорию зародышевой плазмы. Он провел различие между зародышевой плазмой, включающей половые клетки и клетки из которых они образуются, и соматоплазмой, к которой отнес клетки остальной части организма. По Вейсману, зародышевая плазма остается неизменной, передаваясь при размножении из поколения в поколение, тогда как соматоплазма преходяща и создается зародышевой плазмой лишь для того, чтобы защитить себя от повреждений и способствовать размножению. Вейсман подкрепил свою теорию экспериментом: на протяжении многих поколений отрезал хвосты мышам и обнаружил, что длина хвоста у их потомства остается неизменной. Из этого он сделал вывод, что наследственные признаки длины хвоста у мышей определяются не частицами, формируемыми в самом хвосте, а напротив, они определяются клетками зародышевой плазмы, которая при отрезании хвостов оставалась неизменной.

§ 27.

СЦЕПЛЕННОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ ПРИЗНАКОВ

Вспомните, где расположены гены. Какие процессы происходят в профазе мейоза I между гомологичными хромосомами? К чему это приводит?



Рис. 146. Томас Хант Морган (1866–1945)

В одной хромосоме линейно расположено множество генов. Справедлив ли закон Менделя о независимом наследовании признаков в случае, если гены разных признаков находятся в одной паре хромосом? Почему ряд признаков наследуются вместе и не дают расщепления? Как наследуются гены, расположенные в одной хромосоме? Ответы на эти вопросы были получены американским ученым Т.Х. Морганом (рис. 146). В качестве объекта для исследований им была выбрана плодовая мушка дрозофила (рис. 147). Простота ее содержания в лабораторных условиях, быстрая смена поколений, наличие только четырех пар хромосом и ярко выраженные альтернативные признаки позволили с ее помощью найти ответы на поставленные вопросы.

Сцепленное наследование. Для скрещивания Морганом были взяты две чистые линии дрозофил с серым телом, нормальными крыльями и с черным телом, зачаточными крыльями (рис. 148). Предварительно экспериментально было установлено, что доминантными признаками были серая окраска тела (А) и крылья нормальной величины (В).

В первом опыте Морган скрестил гомозиготных мух с серым телом, нормальными крыльями и с черным телом, зачаточными крыльями.

Первое поколение было все единообразно с серым телом и нормальными крыльями. Соблюдался закон единообразия гибридов первого поколения.

В следующем опыте скрещивались полученные гибриды первого поколения с рецессивной гомозиготной мухой. Опыт проводился в двух вариантах. В первом случае гибридом с доминантными признаками был взят самец, а во втором случае – самка. Так как гибрид первого поколения гетерозиготен, то у него должно образоваться четыре типа гамет, а у рецессивной гомозиготной самки только один тип гамет. В резуль-



Рис. 147. Плодовая мушка дрозофила

тате скрещивания должно было образоваться четыре фенотипические группы в соотношении: 1 серое тело, нормальные крылья : 1 серое тело, зачаточные крылья : 1 черное тело, нормальные крылья : 1 черное тело, зачаточные крылья. Однако Морган получил только две фенотипические группы в соотношении 1:1. Расщепление признаков по четырем группам, как при дигибридном скрещивании, не наблюдалось.

Признаки формы крыльев и окраски тела наследовались совместно, следовательно, они располагаются в одной паре гомологичных хромосом. Закон независимого наследования признаков, установленный Менделем, оказался справедливым лишь для генов, расположенных в разных парах хромосом.

По результату проведенного скрещивания дрозофил Морган сделал вывод: одна хромосома несет гены многих признаков. При делении клетки в мейозе хромосомы переходят целиком, не дробясь в гаметы. Соответственно, признаки, гены которых располагаются в одной хромосоме, будут наследоваться совместно, сцеплено.

Сцепленное наследование — это наследование признаков, за которые отвечают гены, расположенные в одной хромосоме. При сцепленном наследовании проявление признаков идет по типу моногибридного скрещивания, так как количество пар хромосом — одна. На основании результатов опытов Морган вывел закон сцепленного наследования признаков.

Гены, находящиеся в одной хромосоме, образуют группу сцепления и наследуются совместно, сцепленно.

Нарушение сцепления генов. Во втором варианте скрещивания Морган взял гетерозиготную самку и гомозиготного самца с рецессивными признаками. Результат скрещивания оказался иным: появились

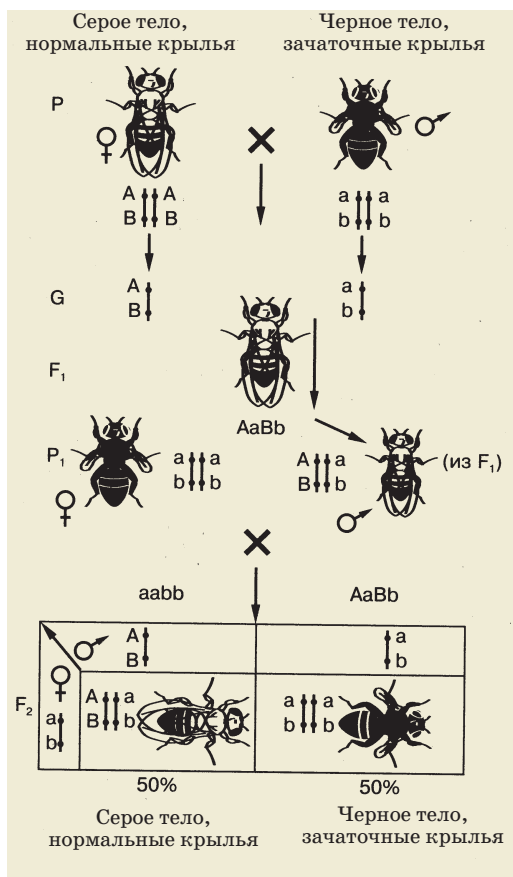


Рис. 148. Скрещивание мух дрозофил в опытах Т. Моргана (I вариант)

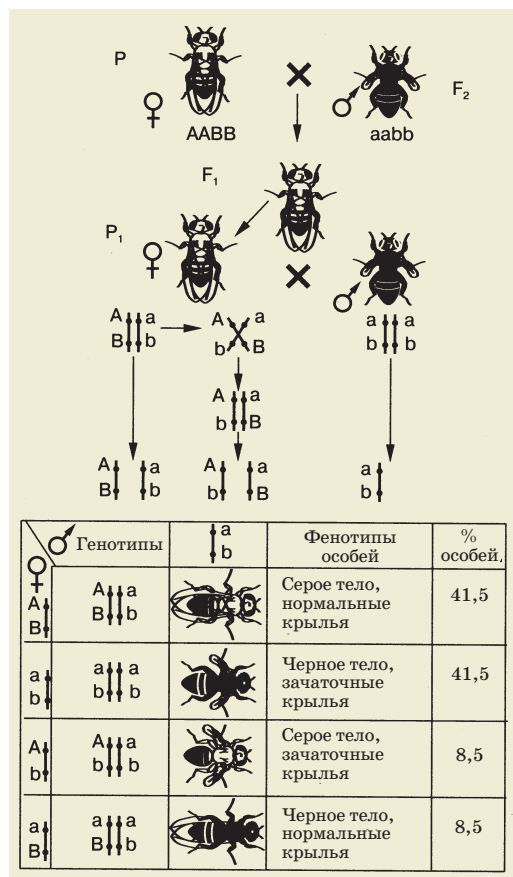


Рис. 149. Нарушение сцепленного наследования окраски и длины крыльев у дрозофилы (II вариант скрещивания)

четыре фенотипические группы, причем, в неравных соотношениях.

Сцепление генов нарушилось. Гетерозиготная самка дала четыре типа гамет. Аллели разных генов, расположенные в гомологичных хромосомах, разделились и образовались новые сочетания признаков, т.е. произошла *рекомбинация генов*. Появление рекомбинантных сочетаний генов связано с поведением гомологичных хромосом в мейозе, между которыми может происходить перекрест (кроссинговер) – обмен участками. Исследуемые гены окраски тела и размера крыльев располагаются в половых хромосомах. У самок две половые хромосомы являются гомологичными друг другу, поэтому кроссинговер возможен. У самцов две половые хромосомы не гомологичны друг другу и кроссинговер между ними не происходит. Поэтому в опыте с гетерозиготным самцом нарушения сцепления не наблюдалось, а в случае с гетерозиготной самкой происходило нарушение сцепления генов. В результате образовались особи с новыми сочетаниями признаков. Их число меньше, чем число особей с традиционным сочетанием, так как кроссинговер происходит не всегда (рис. 149).

На основании проведенных опытов Морган вывел еще один закон – *закон нарушения сцепления между генами*.

Сцепление между генами нарушается при кроссинговере – обмене участками гомологичных хромосом в результате мейоза.

Открытие сцепленного наследования генов и его нарушения, позволило Т.Х. Моргану сформулировать *хромосомную теорию наследственности*.

Хромосомная теория наследственности.

1. Единицы наследственности – гены – расположены в хромосомах линейно.

2. Гены, находящиеся в одной хромосоме, наследуются совместно друг с другом, или сцеплено, образуя группу сцепления.
3. Пара гомологичных хромосом представляет собой одну группу сцепления. Число групп сцепления у каждого вида организмов равно числу пар гомологичных хромосом (у дрозофилы – 4 группы сцепления, у человека – 23).
4. Между гомологичными хромосомами может происходить перекрест (кроссинговер), приводящий к обмену генами и появлению новых рекомбинантных сочетаний признаков.
5. Частота кроссинговера прямо пропорциональна расстоянию между генами в хромосомах. Чем дальше гены расположены друг от друга, тем чаще между ними происходит кроссинговер (рис. 150).

► **Генетические карты.** Изучая частоту кроссинговера, можно определить порядок размещения генов в хромосоме и расстояние между ними. Это дает возможность составить *генетическую карту хромосомы* – схему относительного расположения генов, входящих в состав одной группы сцепления. За единицу расстояния между генами принимается 1% кроссинговера и это величина названа *морганидой* (в честь Т.Х. Моргана).

Допустим, частота кроссинговера между генами *A* и *B* составляет 6%. Это значит, что эти гены находятся на одной хромосоме на расстоянии 6 морганид. Частота кроссинговера между генами *A* и *C* составляет 10%, значит ген *C* находится на расстоянии 10 морганид от гена *A*. Определить взаимное расположение генов *A*, *B* и *C* на основании этих данных еще невозможно, так как гены *B* и *C* могут находиться как справа, так и слева от гена *A* на хромосоме. Необходимо еще знать частоту кроссинговера между генами *C* и *B*. Допустим, она составляет 4%, т.е. гены *C* и *B* находятся на расстоянии 4 морганид. Вот теперь данных достаточно, чтобы построить генетическую карту трех генов. Гены *A* и *C* наиболее удалены друг

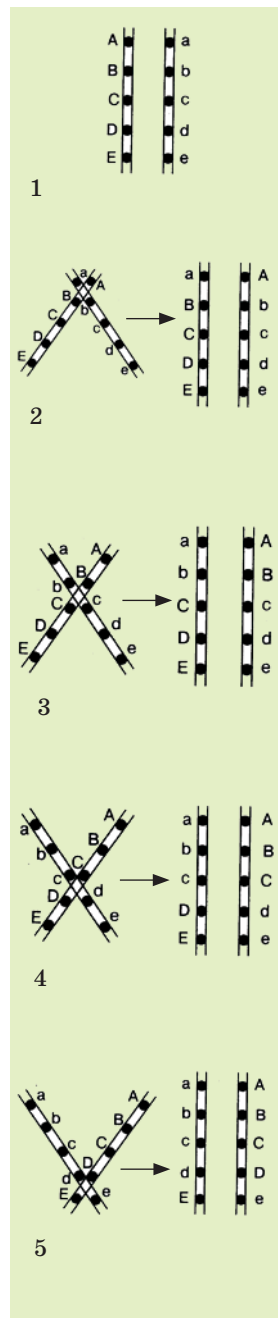


Рис. 150. Варианты кроссинговера между двумя гомологичными хромосомами. Если все возможные варианты сцепленного наследования пяти генов принять за 100%, то вероятность нарушения сцепления между генами *A*–*E* составляет: $4 \times 100 : 5 = 80\%$, а вероятность нарушения сцепления между генами *A*–*B* составляет: $1 \times 100 : 5 = 20\%$

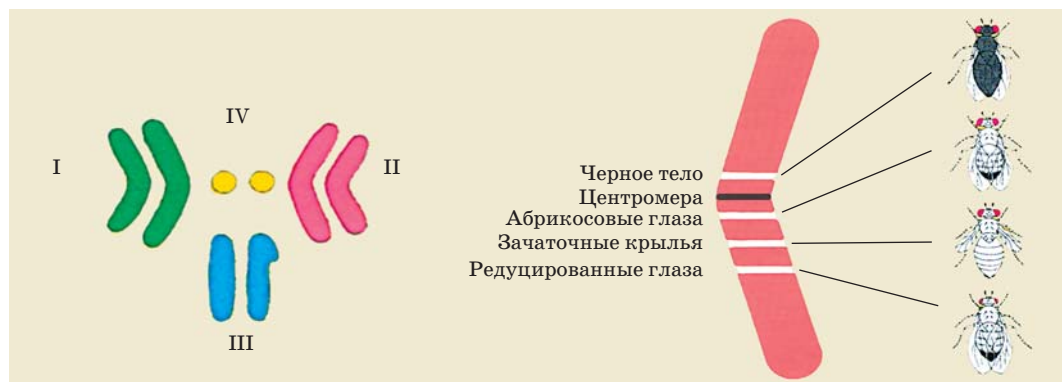


Рис. 151. Хромосомный набор и генетическая карта второй хромосомы дрозофилы

от друга, а ген B находится между генами A и C , так как расстояние $(A - B) + (B - C) = (A - C)$.

При составлении генетических карт наибольшие трудности возникают при определении местоположения далеко отстоящих друг от друга генов. Некоторые гены наследуются всегда сцепленно, и кроссинговер между ними никогда не происходит. В этом случае говорят о полном сцеплении генов. У человека к таким генам относятся три пары генов, отвечающие за наследование резус-фактора. Наиболее подробно хромосомные карты составлены для дрозофилы (рис. 151), мышей, кур, кукурузы, томата. В 80-х гг. XX в. совместными усилиями ученых многих стран, в том числе и России, было начато составление генетических карт хромосом человека. Сейчас эта работа завершена. ◀



Сцепленное наследование, закон сцепленного наследования признаков, рекомбинация генов, закон нарушения сцепления генов; хромосомная теория наследственности; ► генетические карты хромосом, морганида. ◀



1. Чем объясняется сцепленное наследование признаков у организмов? 2. Что такое группа сцепления генов? От чего зависит количество групп сцепления у каждого организма? 3. Между какими хромосомами может происходить кроссинговер? К чему он приводит? 4. Перечислите основные положения хромосомной теории наследственности. Какое значение она имеет для науки? ► 5. Что такое генетические карты хромосом? Как и для чего их составляют? ◀

§ 28.

ГЕНЕТИКА ПОЛА

Рассмотрите рисунок 152. Чем отличается хромосомный набор женской и мужской особи дрозофилы? Вспомните, какие клетки организма содержат диплоидный, а какие – гаплоидный набор хромосом.

Самые заметные различия между особями одного вида – это половые признаки. Доказательством влияния хромосом на половые признаки организмов служит разный набор хромосом у самок и самцов. В соматических клетках самки и самца все пары хромосом, кроме одной, похожи и несут одинаковые гены. Такие хромосомы называют *аутосомами*. Пары хромосом, различные у самки и самца, – *половые хромосомы*. У дрозофилы четыре пары хромосом, из них три пары аутосом и одна пара половых хромосом (рис. 152). Человек имеет 23 пары – 22 пары аутосом и 1 пару половых хромосом.

Хромосомное определение пола. Половые хромосомы отличаются друг от друга как по внешнему виду, так и по заключенной в них генетической информации. Различают два типа половых хромосом: большую по величине хромосому обозначают X, а меньшую – Y. Пол у большинства организмов определяется наличием половой пары хромосом в сочетании XX или XY.

У большинства организмов (млекопитающих, пресмыкающихся, земноводных и двукрылых насекомых) женские особи в соматических клетках имеют удвоенный набор аутосом и 1 пару половых хромосом XX, а мужские особи – удвоенный набор аутосом и 1 пару половых хромосом XY. У птиц, некоторых рыб и бабочек все наоборот. Самцы в соматических клетках имеют удвоенный набор аутосом и 1 пару половых хромосом XX, а самки – удвоенный набор аутосом и 1 пару половых хромосом XY.

Пол, у которого имеются XX-хромосомы, называется *гомогаметным*. Гомогаметные особи по половым хромосомам образуют один тип гамет, несущих одинарный набор аутосом и одну половую хромосому X. Пол, содержащий XY-хромосомы, называется *гетерогаметным*. Гетерогаметные особи дают два типа гамет,

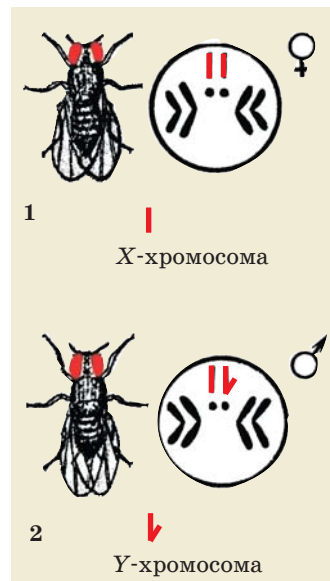


Рис. 152. Хромосомный набор дрозофилы: 1 – кариотип самки; 2 – кариотип самца. Красным цветом выделены половые хромосомы X и Y

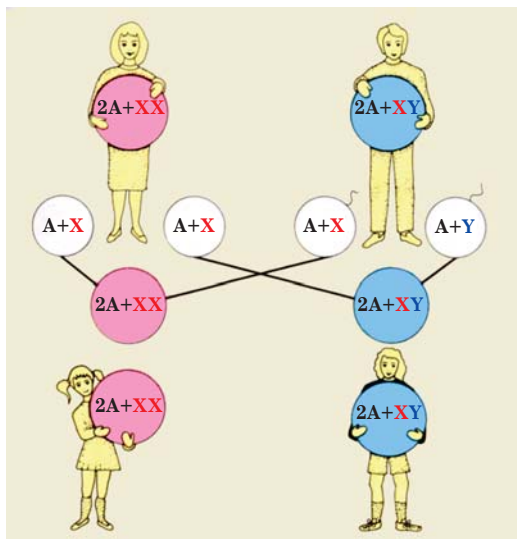


Рис. 153. Расщепление по полу в соотношении 1 : 1 у человека: 2А – удвоенный набор аутосом; А – одинарный набор аутосом; X, Y – половые хромосомы

несущих по одинарному набору аутосом и половую хромосому X или Y. Если женские особи гомогаметны, то они образуют один тип яйцеклеток. В этом случае у мужских особей образуется два типа сперматозоидов. В зависимости от того, какой из них оплодотворяет яйцеклетку, развивается соответственно женский или мужской организм (рис. 153). В случае, если гомогаметными являются мужские особи, то они образуют один тип гамет, женские особи – два типа яйцеклеток.

Число гамет с X- и Y-хромосомами у гетерогаметной особи одинаковое, поэтому первичное ожидаемое соотношение полов составляет 1 : 1. Однако, на момент рождения теоретическое соотношение полов не всегда сохраняется. Так, у человека на 100 девочек рождается 106 мальчиков,

у собак на 100 самок приходится 112 самцов, а у кур на 100 самок приходится 96 самцов. В дальнейшем эти соотношения могут изменяться по причине неодинаковой выживаемости особей разного пола.

Наследование признаков, сцепленных с полом. Характер наследования признаков зависит от положения генов в хромосомах. Если гены располагаются в аутосомах, то признак наследуется одинаково, независимо от пола особи. Совершенно иная картина наблюдается при наследовании признаков, за которые отвечают гены, расположенные в половых хромосомах. Так как X-хромосома присутствует у обоих полов, то в ней располагаются жизненно важные гены. Потеря X-хромосомы приводит к гибели зиготы. Другая половая хромосома – Y-хромосома встречается у особей только одного пола и несет ограниченное число генов, характерных только для этого пола. Отсутствие Y-хромосомы может привести к нарушению развития половых признаков или к полному их исчезновению. Таким образом, основные признаки, сосредоточенные в половых хромосомах, организм наследует чаще всего

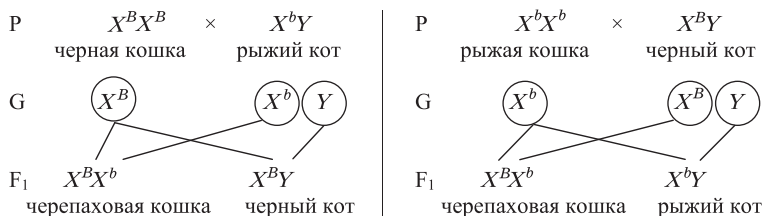


по X-хромосоме. У гомогаметных особей X-хромосомы парные, поэтому они могут нести как доминантные, так и рецессивные признаки. У гетерогаметных особей X- и Y-хромосомы непарные. Поэтому важные гены у них несет только X-хромосома.

Признаки, расположенные в половых хромосомах, наследуются *сцеплено с полом* и проявляются по-разному у самок и самцов. Рассмотрим несколько таких примеров. Так, у домашних кошек ген окраски шерсти находится в X-хромосоме. Черная окраска определяется доминантным геном B , рыжая окраска – рецессивным геном b . При генотипе BB развивается черная окраска шерсти, а при генотипе bb – рыжая окраска. У гетерозигот Bb имеет место неполное доминирование и развивается черепаховая (трехцветная) окраска (рис. 154). Как видно из схемы скрещивания черепаховая окраска встречается только у кошек, а черепаховых котов не бывает, так как две X-хромосомы у самцов в норме не встречаются.



Рис. 154. Кошка черепаховой окраски



Другой пример. У дрозофилы рецессивный ген белой окраски глаз находится в X-хромосоме и наследуется сцеплено с полом. Этот признак чаще проявляется у самцов, чем у самок, так как для проявления признака у самцов достаточно наличия только одного гена белой окраски (рис. 155).



Рис. 155. Различная окраска глаз у дрозофилы. Гены окраски глаз находятся в X-хромосоме

У человека ряд признаков также сцеплен с полом. К ним относятся, например, наследование рецессивного гена дальтонизма – аномалии цветного зрения (неспособность различать красный и зеленый цвета); рецессивного гена гемофилии. Последняя аномалия связана с неспособностью крови человека-гемофилика к свертыванию, что может при ранении привести к гибели.

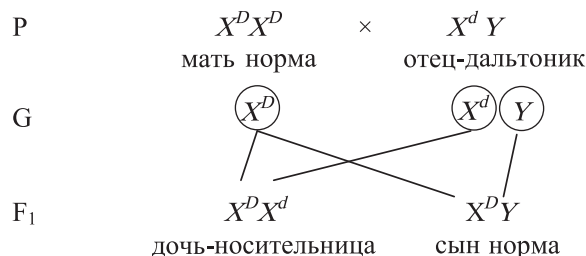
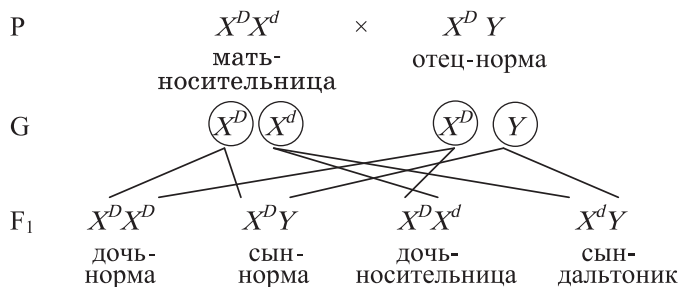
Рецессивный и нормальный гены находятся в гомологичных X-хромосомах. У мужчин рецессивный признак проявляется при наличии только одного гена, а у женщин – всегда двух.

Рассмотрим два примера наследования дальтонизма. Носителем гена дальтонизма является женщина, а проявляется заболевание чаще у мужчин, что видно из схемы скрещивания. Отцы передают свой аномальный ген дальтонизма дочерям, и они становятся носителями этого гена, но заболевание у них не проявляется. Матери же передают свой аномальный ген сыновьям, и у них заболевание проявляется. Чтобы признак проявился у дочери, нужно, чтобы ген дальтонизма был у обоих родителей.

ПРИЗНАКИ, СЦЕПЛЕННЫЕ С ПОЛОМ

- окраска шерсти у кошек
- белоглазость у дрозофилы
- гемофилия у человека
- дальтонизм у человека

Признаки: X^d – рецессивный ген дальтонизма
 X^D – ген нормального цветного зрения



Аномальный ген X^d может быть у мужчин и у женщин. К дочерям переходит одна X -хромосома от отца, другая от матери, но признак проявляется очень редко, так как встреча двух X^d -хромосом маловероятна. При наличии одной X^d -хромосомы женщина оказывается носителем рецессивного гена. Так как X^d -хромосома от матери передается сыновьям, то у них проявляется рецессивный признак. Поэтому аномальные гены гемофилии и дальтонизма почти всегда проявляются только у мужчин. Приблизительно 8% мужчин страдают дальтонизмом, но среди женщин их всего 0,5% (рис. 156).

Рецессивные признаки, наследуемые через X -хромосому, у женщин проявляются только в гомозиготном состоянии, а доминантные в равной степени проявляются у обоих полов. К сцепленным с полом доминантным признакам относятся темная эмаль зубов, витаминустойчивый рахит и другие.

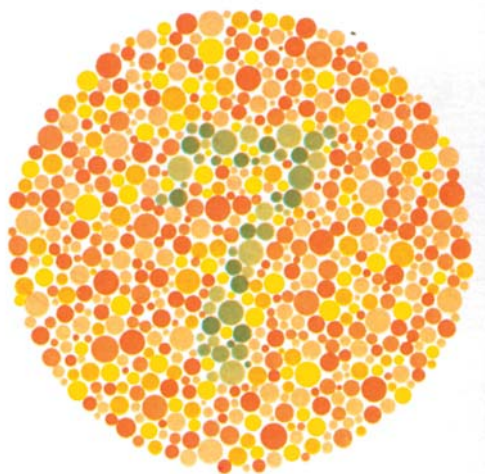


Рис. 156. Тест на дальтонизм. Люди с нормальным цветным зрением различают цифру 74, дальтоники ее не видят, так как не могут отличить зеленый цвет от красного



Аутосомы, половые хромосомы, гомогаметный пол, гетерогаметный пол, сцепленное с полом наследование.



1. В чем разница между аутосомами и половыми хромосомами?
2. Какую роль играют хромосомы в определении пола у организмов?
3. Почему соотношение полов в момент рождения у большинства организмов равно 1 : 1?
4. Какой пол называют гомогаметным, а какой – гетерогаметным?
5. Почему гомогаметная особь чаще бывает носителем аномального гена, а проявление аномального признака чаще наблюдается у гетерогаметного пола?



Решите задачи. 1. От кошки черепаховой окраски родилось 5 котят, один из которых оказался рыжим, 2 котенка имели черепаховую окраску, а 2 котенка были черными. Рыжий котенок оказался самкой. Определите генотипы и фенотипы кота-производителя и всех котят. 2. У дрозофилы белоглазость наследуется как рецессивный признак, сцепленный с X -хромосомой. Какое получится потомство, если: 1) скрестить белоглазую самку с красноглазым самцом; 2) скрестить между собой гибриды первого поколения?

§ 29.

НЕНАСЛЕДСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Вспомните, что называют изменчивостью. Какую роль для организма играет ненаследственная изменчивость?

На одном и том же растении, обладающим одним генотипом, встречаются листья, цветки, плоды, различающиеся по величине, окраске и другим признакам. Значит, при одинаковом генотипе могут развиваться разные фенотипы, т.е. происходит изменчивость.

Изменчивость – это способность организма изменять свои признаки в зависимости от генотипа и условий среды. Изменения признаков могут наследоваться или не наследоваться. Если они затрагивают лишь фенотип, то в этом случае генотип сохраняется, и возникшие в процессе индивидуального развития изменения не передаются потомству. В случае же, когда изменения затрагивают генотип, они всегда наследуются. Отсюда, выделяют два вида изменчивости: *ненаследственную* и *наследственную*.

Модификационная изменчивость *Модификационная* (от лат. *modus* – вид и *facio* – делаю), или *фенотипическая* – это ненаследственная изменчивость, возникающая у организмов под влиянием условий среды. Она не связана с изменением генотипа и проявляется лишь в разнообразии фенотипов (модификациях).

Изменение фенотипа при одном и том же генотипе связано с разным воздействием условий среды на организм. Например, если часть корня от одного растения одуванчика посадить в плодородную почву, то из него вырастет мощное высокорослое растение с множеством соцветий (рис. 157). На бедной почве из того же корня разовьется слабое и низкорослое растение.

Другим примером модификационной изменчивости служит изменение окраски шерсти у зайца-беляка в зависимости от температуры окружающей среды. Зимой при низких температурах у зайца вырастает белая шерсть, т.е. пигмент не развивается. Весной при повышении температуры пигмент вновь вырабатывается, и шерсть становится серо-коричневой. Такая изменчи-



Рис. 157. Модификационная изменчивость: одуванчик, выросший на плодородной (вверху) и бедной (внизу) почве

вость является приспособительной, так как позволяет зайцам быть незаметными на фоне белого снега зимой или темной земли летом.

Характеристика модификационной изменчивости. Для характеристики модификационной изменчивости необходимо определить предел изменчивости и среднюю величину признака. Так, датский ученый В. Иоганнсен (рис. 158), изучая семена в чистой линии фасоли, установил, что все они отличались по размерам. Расположив семена в порядке увеличения их размеров, он получил *вариационный ряд* (от лат. *varietas* – разнообразие, переменчивость), отображающий последовательное изменение признака от наименьшего к наибольшему (рис. 159). Каждое семя в этом ряду представляло собой *варианту*. Вариационный ряд показывал степень изменчивости признака.

Полученные результаты Иоганнсен представил в виде графика. *Вариационная кривая* – это графическое выражение изменчивости признака, которая отражает размах вариаций и частоту встречаемости вариантов (рис. 160). Средние члены вариационного ряда встречаются чаще, а крайние реже. Эта закономерность касается не только рассмотренного примера, а распространяется и на другие количественные признаки. Для получения достоверных результатов число исследуемых вариантов должно быть достаточно большим. В этом

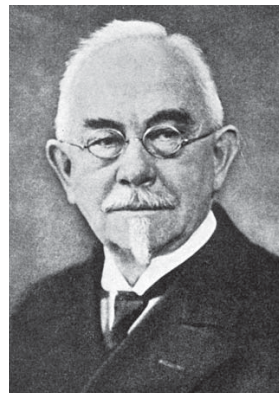


Рис. 158. Вильгельм Иоганнсен (1857–1927)

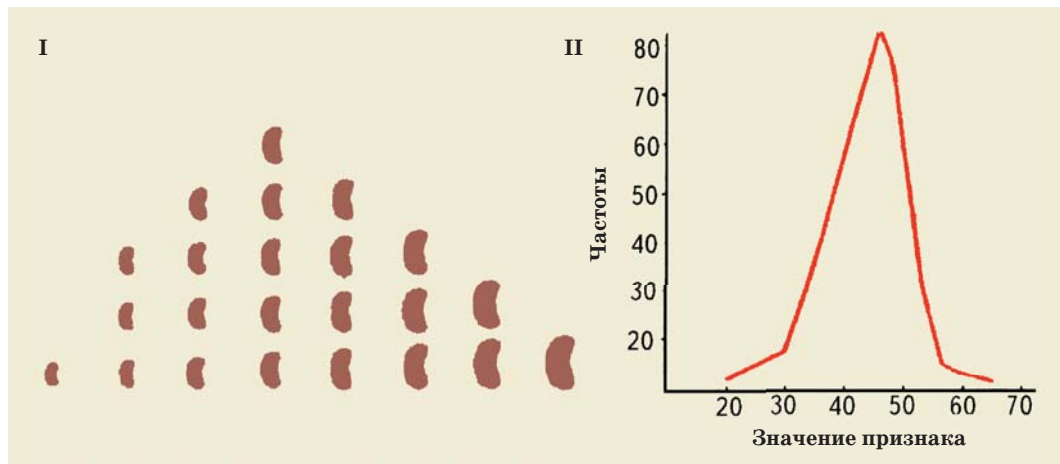


Рис. 159. Вариационный ряд семян фасоли и полигон их распределения по массе

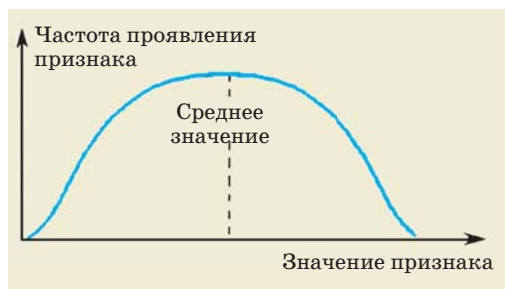


Рис. 160. Вариационная кривая нормального распределения: по оси абсцисс откладывают значения отдельных вариантов, по оси ординат — частоту встречаемости признака

случае вариационная кривая имеет плавный характер в виде колокола.

По характеру вариационной кривой судят о степени изменчивости признака. Две крайние точки графика соответствуют пределу изменчивости признака, его верхней и нижней границе. Весь полигон распределения признака означает его норму реакции. *Норма реакции* — это предел изменчивости признака, который обусловлен данным генотипом. Центральная часть графика — это средняя величина признака.

Норма реакции может быть широкой и может изменяться в большом диапазоне и узкой, когда изменения незначительны. Широкой нормой реакции обладают *количественные признаки*, например, у коров — надой молока, а у овец — масса тела. Узкая норма реакции характерна для *качественных признаков*, например, степень жирности молока у коров и длина шерсти у овец. Проявление этих признаков в меньшей степени зависит от условий среды и больше обусловлено генотипом. Следовательно, наследуется не сам признак как таковой, а его норма реакции. Чем шире норма реакций, тем пластичнее признак, тем он более приспособлен к условиям среды. Это увеличивает вероятность выживания вида в изменяющихся условиях.

Наглядный пример модификационной изменчивости — изменение окраски шерсти у горностаевого кролика (рис. 161). Молодые горностаевые кролики имеют белую окраску шерсти. Позже у них в связи с разной температурой на лапах, кончике морды, ушных раковинах и хвосте развивается темная шерсть. Если у горностаевого кролика выщипать шерсть на каком-либо участке тела, то окраска новой шерсти будет зависеть от температуры среды. Так, если выщипанный участок на спине кролика продолжительное время охлаждать пузырем со льдом, на нем вырастает такая же темная шерсть, как на ушах, лапах и хвосте. Если же выщипанный участок будет согреваться компрессом, на нем образуется белая шерсть. Эти опыты доказывают ненаследственный характер наблюдаемой изменчивости



Рис. 161. Горностаевый кролик и изменение окраски его шерсти под влиянием температуры

и объясняют, почему молодые горностаевые кролики совершенно белые: в период новорожденности они находятся в условиях повышенной температуры – в гнезде, устраиваемом крольчихой.

Можно сделать вывод, что генотип определяет способность организма реагировать на условия внешней среды, т.е. норму реакции признака. Развитие признаков у организма есть результат взаимодействия генотипа с внешней средой, что определяет появление модификационной изменчивости.

Свойства модификационной изменчивости.

1. Возникает в процессе индивидуального развития организма, носит фенотипический характер, т.е. не затрагивает генотип и не наследуется.
2. Проявляется у многих особей, т.е. имеет массовый характер.
3. Происходит постепенно. Например, надой молока у коров при хорошем уходе повышаются не сразу.
4. Соответствует условиям среды, т.е. изменения являются приспособительными. Они повышают жизнестойкость особей и способствуют выживанию.
5. Образует вариационный ряд признака в пределах его нормы реакции. Причина вариаций – различия в воздействии условий среды.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДИФИКАЦИЙ

- вариационный ряд
- вариационная кривая
- норма реакции признака



Ненаследственная (модификационная, или фенотипическая) изменчивость; наследственная изменчивость; вариационный ряд, варианта, вариационная кривая; норма реакции, признаки: количественные, качественные.



1. Что такое изменчивость? Чем она обусловлена? 2. Сравните два свойства организма: наследственность и изменчивость. Какое из свойств организма первично, а какое вторично? 3. Какая изменчивость не наследуется? Почему она называется модификационной, или фенотипической? 4. На какие две группы можно разделить все признаки организма? Приведите примеры признаков каждой группы. 5. Что такое норма реакции? Чем определяется предел изменчивости признака? Приведите примеры признаков с различной нормой реакции. 6. Перечислите основные свойства модификационной изменчивости.



Постройте вариационную кривую для такого количественного признака, как рост (в см) учащихся вашего класса: каковы его норма реакции и среднее значение?

§ 30.

НАСЛЕДСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Вспомните, в чем сущность закона независимого наследования признаков. К чему приводит кроссинговер между генами в хромосомах?

В отличие от модификационной изменчивости *наследственная изменчивость* затрагивает генотип, т.е. является *генотипической* и всегда передается потомству. Она бывает в основном двух видов: комбинативная и мутационная.

Комбинативная изменчивость – это появление новых сочетаний признаков вследствие комбинации генов. Часто у потомков образуются такие сочетания признаков, которые не встречались у родителей. Например, появление зеленых гладких семян у гороха посевного при скрещивании гетерозиготных особей с гладкими желтыми семенами – результат комбинации признаков (генов) обоих родителей.

Комбинативная изменчивость обусловлена тремя процессами: 1) независимым расхождением хромосом в мейозе; 2) рекомбинацией генов в результате кроссинговера; 3) случайным сочетанием отцовских и материнских гамет при половом размножении. Комбинативная изменчивость определяет разнообразие особей и необходима для вида в его приспособлении к условиям среды. Наличие комбинаций способствует появлению особей со специфическими признаками, которые используются в селекции (рис. 162).

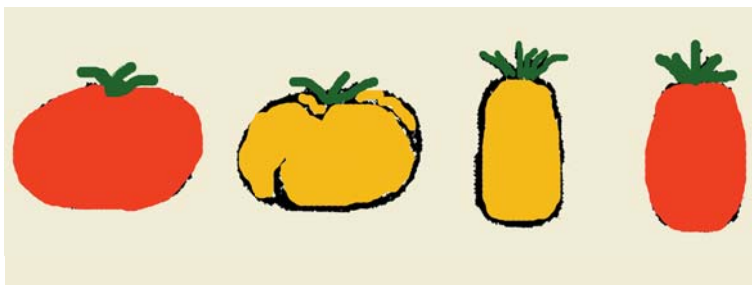
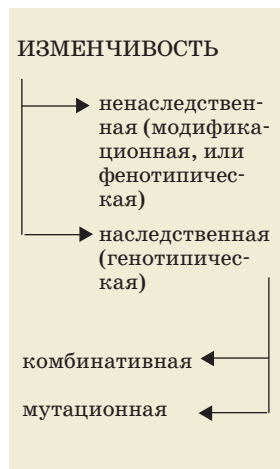


Рис. 162. Комбинативная изменчивость окраски и формы плодов у томата

Мутационная изменчивость. Генотип любого организма подвергается воздействию условий среды. Иногда такие воздействия могут вызвать изменения, «ошибки» в структуре хромосом или генов. В результате возникает новый признак – *мутация* (от лат. *mutatio* – изменение). Термин «мутация» был введен в науку голландским ученым Г.Де Фризом (рис. 163). Он наблюдал появление ряда признаков у растения энотеры (ослиника), которые резко отличались от исходной формы. Последующие исследования показали, что подобные наследственные изменения свойственны всем организмам.

Мутационная изменчивость – это изменения всего генотипа организма или отдельных его частей. Они связаны с ошибками в редупликации ДНК и нарушениями процесса клеточного деления. В основе любых мутаций лежит появление новых белков, которые обуславливают развитие у мутировавшей особи – *мутанта* – новых признаков (рис. 164).

Свойства мутационной изменчивости.

1. Носит генотипический характер, т.е. затрагивает генотип организма и наследуется.
2. Проявляется у отдельных особей, т.е. имеет индивидуальный характер. Одинаковые условия среды вызывают разные изменения генотипа, т.е. разные мутации.
3. Носит скачкообразный характер, отсутствует постепенность в изменении признаков.
4. Не соответствует условиям среды, т.е. имеет независимый характер. Мутации могут быть нейтральными, полезными, но чаще вредными.
5. Приводит к образованию новых признаков, но иногда и к гибели особи.

► **Классификация мутаций.** Выделяют несколько видов мутаций. По характеру изменения фенотипа мутации могут быть *биохимическими* и *анатомо-морфологическими*. Например, альбинизм – мутация, связанная с отсутствием фермента, ответственного за синтез пигмента меланина. При анатомо-морфологических мутациях наблюдаются аномалии в формировании органов, например, шестипалость у человека.

По локализации в клетке мутации бывают *ядерными* и *цитоплазматическими*. Ядерные мутации связаны с аномалиями в хромосомном аппарате ядер клеток.



Рис. 163. Гуго Де Фриз (1848–1935)



Рис. 164. Мутантная особь дрозофилы с двумя парами крыльев

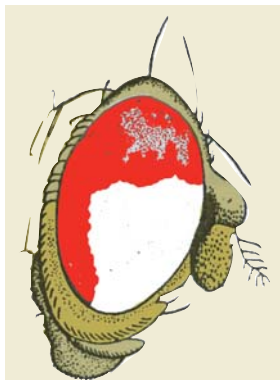


Рис. 165. Соматическая мутация развития окраски глаза у дрозофилы. Пигментация в части глаза отсутствует

Цитоплазматические мутации вызваны нарушениями ДНК в органоидах цитоплазмы клетки – хлоропластах и митохондриях.

По типам клеток, в которых они возникают, мутации делят на *половые* и *соматические*. Если изменения связаны с хромосомами в половых клетках, то они проявляются в последующих поколениях. Но мутации могут происходить и в соматических клетках. В этом случае они не передаются по наследству при половом размножении. Пример соматической мутации – нарушение пигментации глаза у дрозофилы (рис. 165). По характеру изменения генотипа различают мутации генные, хромосомные и геномные. ◀

Генные мутации. Качественные перестройки отдельных генов, связанные с изменениями в структуре молекулы ДНК, называют *генными мутациями*. В этом случае изменяются отдельные нуклеотиды, поэтому генные мутации еще называют *точковыми*.

Генная мутация – результат «ошибок» в редупликации ДНК. Это может быть случайная замена одного нуклеотида на другой, выпадение и добавление нуклеотида (рис. 166). В первом случае может измениться только один триплет, а следовательно одна аминокислота в белке. В случаях добавления лишнего нуклеотида или выпадения нуклеотида в молекуле ДНК сдвигается рамка считывания генетического кода, и изме-

МУТАЦИИ

- генные
- хромосомные
- геномные

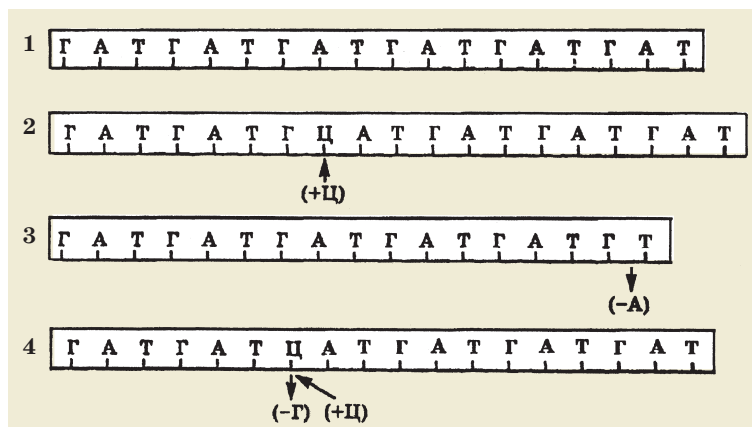


Рис. 166. Генные мутации. Схема возможных вариантов мутаций в ДНК: 1 – нормальный ген; 2 – добавление лишнего нуклеотида; 3 – выпадение одного нуклеотида; 4 – замена одного нуклеотида на другой

няется вся структура гена. Это ведет к изменению всей полипептидной последовательности и возникновению другого белка, а значит, и другого признака. Пример генной мутации, связанной с заменой одной аминокислоты на другую, – заболевание серповидно-клеточной анемией у человека. Часть эритроцитов, вследствие мутировавшего белка гемоглобина, приобретает форму серпа, поэтому кровь человека транспортирует меньше кислорода.

Хромосомные мутации. *Хромосомные мутации*, или *хромосомные перестройки*, – это изменения структуры хромосом, затрагивающие несколько генов. Различают следующие типы хромосомных мутаций: потеря участка хромосомы; перенос части хромосомы на другую, негомологичную хромосому, в результате чего изменяется группа сцепления генов; поворот участка хромосомы на 180° , при котором меняется последовательность генов; удвоение участка хромосомы, в результате чего он оказывается представлен повторами нуклеотидов (рис. 167).

Хромосомные мутации приводят к изменению функционирования генов, что служит причиной различных нарушений в организме. Например, перестройка в коротком плече пятой хромосомы у человека ведет к развитию синдрома «кошачьего крика» (плач ребенка напоминает мяуканье кошки).

Геномные мутации. Это количественные изменения числа хромосом. Они возникают вследствие нарушения в мейозе веретена деления и нерасхождения хромосом. Встречаются два вида таких мутаций (рис. 168). Кратное увеличение числа хромосом ($3n$, $4n$ и т.д.) называют *полиплоидией*. Иногда при

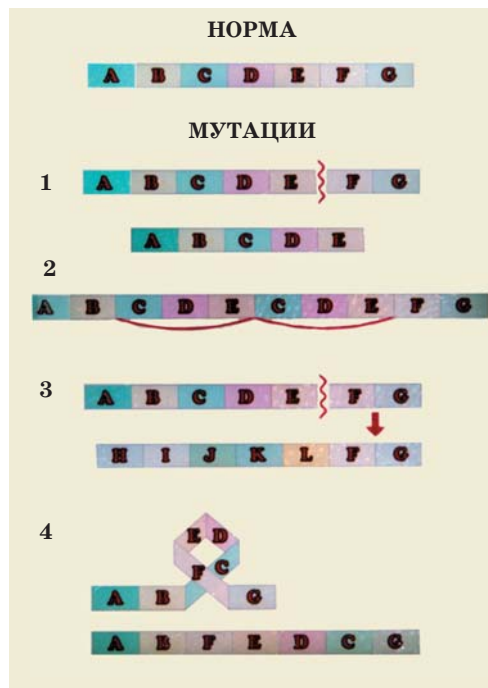


Рис. 167. Хромосомные мутации. Виды хромосомных перестроек: 1 – потеря участка; 2 – удвоение участка; 3 – перенос части хромосомы на другую; 4 – поворот участка на 180°

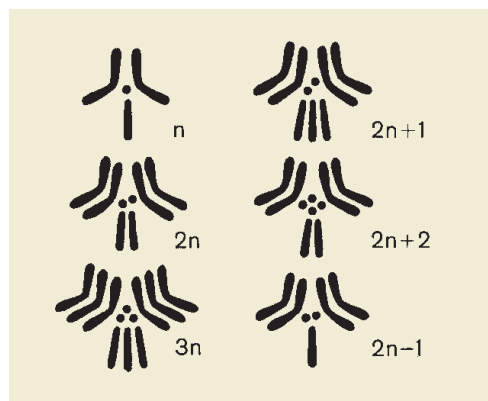


Рис. 168. Геномные мутации. Нормальные и аномальные кариотипы у дрозофилы

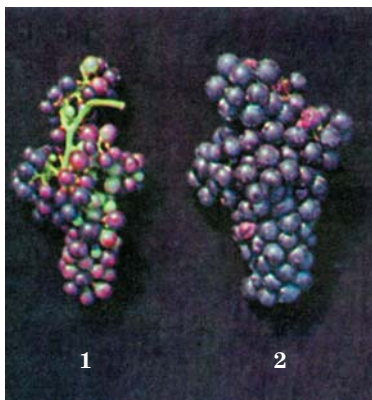


Рис. 169. Геномные мутации. Полиплоидия у винограда: 1 – норма ($2n$); 2 – тетраплоид ($4n$)

делении клетки ядро делится быстрее цитоплазмы. В результате этого число хромосом в клетке удваивается, возникает тетраплоидная клетка. Она может дать начало тетраплоидному организму. Иногда при нарушении веретена деления в мейозе образуется диплоидная гамета, которая, сливаясь с гаплоидной гаметой, дает начало триплоидному организму. Такой вид мутаций встречается у растений. Многие из них – полиплоиды. Они имеют увеличенные размеры клеток, вегетативных органов и плодов. Однако плодовитость у них пониженная. Например, известен бескосточковый тетраплоидный виноград, в котором отсутствие семян – положительный признак для человека, так как он повышает вкусовые качества плодов (рис. 169). У животных полиплоидия встречается реже, чем у растений.

Гетероплоидия – некрatное увеличение или уменьшение числа хромосом (на одну, две и т.д.). Подобные аномалии связаны с нерасхождением одной пары хромосом в мейозе. В результате возникают гаметы с аномальным числом хромосом, которые при оплодотворении образуют: моносомию ($2n-1$), трисомию ($2n+1$) или тетрасомию ($2n+2$). У животных и человека такие мутации приводят к аномалиям развития, иногда к гибели особи. Трисомия у человека описана по большинству пар хромосом. Но только люди с трисомией по 21, 22 и 23 парам обладают достаточной жизнеспособностью (рис. 170).

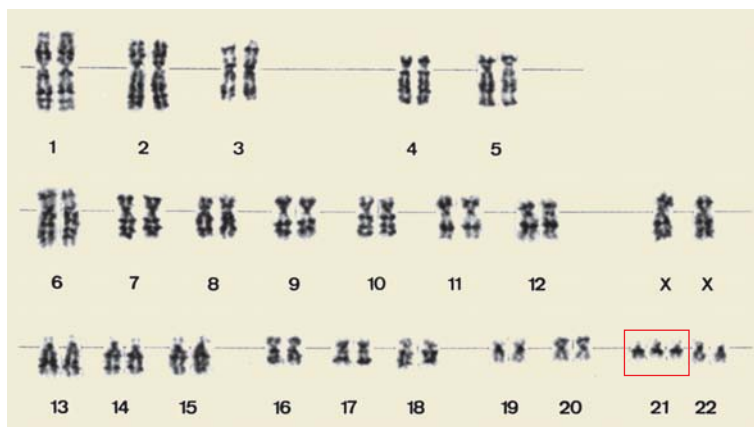


Рис. 170. Синдром Дауна. Мутация вызвана трисомией по 21 паре хромосом, в клетке 47 хромосом

Частота и причины мутаций. Мутации возникают в природе случайным образом. В одном конкретном гене они происходят крайне редко. В действительности гено-тип организма содержит несколько тысяч генов. Если учесть, что мутации могут происходить в любом из них, общее число мутаций у отдельной особи возрастает.

В настоящее время разработаны методы, позволяющие искусственно получить индуцированные мутации. Факторы, вызывающие мутации – *мутагены*. Это физические факторы: α -, β - и γ -лучи, образующиеся при радиоактивном распаде, ионизирующее излучение, ультрафиолетовые лучи; химические вещества: кофеин, формальдегид, колхицин, некоторые лекарственные препараты и пищевые консерванты. Мутагенами могут быть и биологические объекты – бактерии и вирусы. Все возникающие при этом мутации не адекватны воздействию факторов, единичны и разнообразны.

Большинство мутаций рецессивны и проявляются в популяциях только у гомозигот. Мутации могут длительное время сохраняться в гетерозиготном состоянии, никак себя не обнаруживая. Поэтому определить наличие мутаций можно только в поколениях. Доминантные мутации проявляются сразу же и в случае летальности исчезают со смертью особи.

Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости. История науки хранит имена многих ученых, обогативших человечество крупнейшими открытиями. Среди них Николай Иванович Вавилов занимает особое место (рис. 171). Он был не только ученым-биологом, но и выдающимся географом-путешественником, открывшим удивительный мир культурных растений. Н.И. Вавилов исследовал растения семейства Злаки (650 сортов пшеницы и 350 сортов овса) и обнаружил, что у них встречаются одинаковые наследственные изменения. Установив характер возникновения этих наследственных изменений, Н.И. Вавилов в 1920 г. сформулировал *закон гомологических рядов в наследственной изменчивости*.

Роды и виды, генетически близкие между собой, характеризуются сходными рядами наследственной изменчивости с такой точностью, что, зная ряд форм в пределах одного вида и рода, можно определить нахождение параллельных форм у других видов и родов.



Рис. 171. Николай Иванович Вавилов (1887–1943)



Рис. 172. Альбинизм: 1 – белка-альбинос; 2 – змея-альбинос; 3 – крокодил-альбинос

Зная мутации у одного вида организма, можно предвидеть их появление и у других видов одного рода, семейства, класса и т.д. Например, образование карликовых форм и гигантов встречается у гороха, пшеницы, ячменя, малины. Такие же явления можно наблюдать и у животных. Карликовость, гигантизм, альбинизм распространены среди всех классов позвоночных животных (рис. 172).

Открытие закона гомологических рядов в наследственной изменчивости стало крупнейшим событием в науке. Он имеет практическое значение для селекции, так как облегчает поиск наследственных изменений, необходимых для выведения новых сортов культурных растений и пород домашних животных.



Наследственная (генотипическая) изменчивость; виды наследственной изменчивости: комбинативная, мутационная, мутант; ► виды мутаций: биохимические, анатомо-морфологические; ядерные и цитоплазматические; половые и соматические ◄; генные, хромосомные, геномные: полиплоидия, гетероплоидия; мутагены, закон гомологических рядов в наследственной изменчивости.



1. Чем наследственная изменчивость отличается от ненаследственной? Охарактеризуйте виды наследственной изменчивости. 2. В каком случае и почему ген в ДНК будет больше изменен: при выпадении или замене одного нуклеотида? 3. С чем связано изменение кариотипа и появление геномных мутаций? Приведите примеры геномных мутаций. 4. Объясните, чем полиплоидия отличается от гетероплоидии. 5. В чем причины увеличения частоты мутаций у организмов в настоящее время? 6. Объясните, почему закон гомологических рядов в наследственной изменчивости Н.И. Вавилова имеет такое же значение для биологии, как Периодический закон Д.И. Менделеева для химии.

§ 31.

ГЕНЕТИКА ЧЕЛОВЕКА

Вспомните, чем различаются хромосомы у особей мужского и женского пола. Какие методы используются в генетике? Как передаются признаки, сцепленные с полом? Какие существуют мутации и в чем их причины?

Все генетические законы универсальны и приложимы к человеку. В норме кариотип человека включает 46 хромосом диплоидного набора, или 23 пары гомологичных хромосом. Из них 22 пары аутосом и 1 пара – половых хромосом XX (у женщин) или XY (у мужчин). При этом женский организм является гомогаметным, а мужской – гетерогаметным (рис. 173).

Изучение генетики человека имеет свои особенности. Во-первых, невозможно использовать гибридологический метод, так как экспериментальное скрещивание людей невозможно. Во-вторых, у человека медленная смена поколений, поэтому пронаблюдать характер наследования признака сложно. В-третьих, у человека очень малое число потомков в одной семье, что не дает статистически достоверного результата. Поэтому для

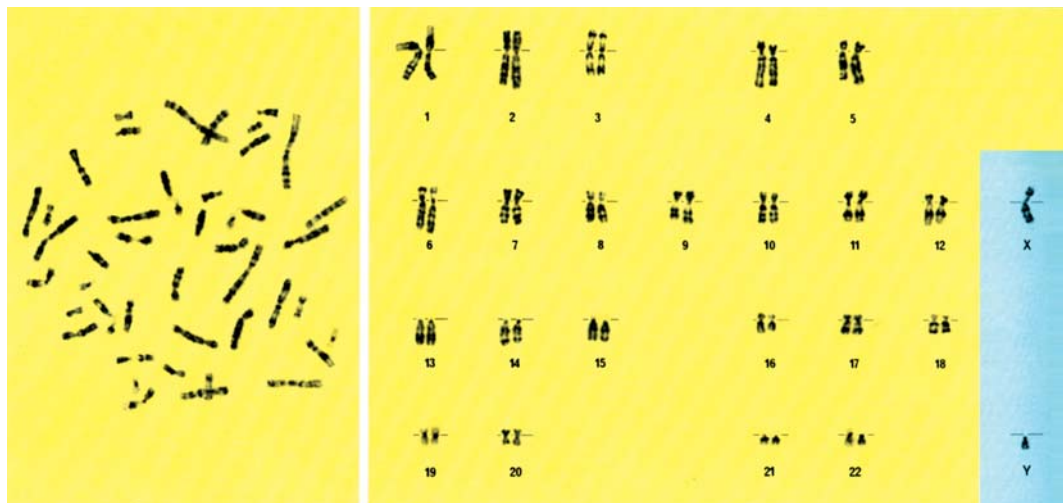


Рис. 173. Кариотип человека. Половые хромосомы выделены голубым фоном

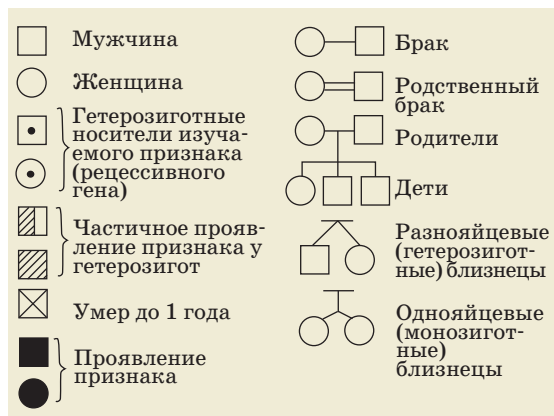


Рис. 174. Стандартные символы, принятые для составления родословных у человека

изучения генетики человека используются специфические методы, а характер наследования того или иного признака определяется на больших популяциях людей.

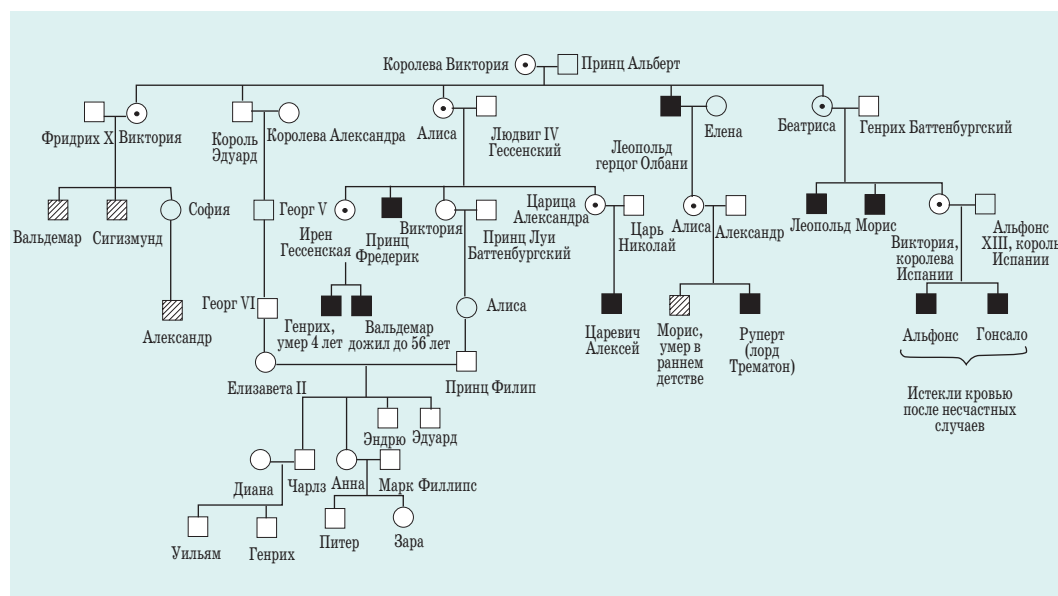
Основные методы генетики человека. *Цитогенетический метод* заключается в микроскопическом исследовании структуры и числа хромосом у здоровых и больных людей. Из трех типов мутаций с помощью микроскопа можно обнаружить хромосомные и геномные мутации. Кроме того, этот метод используют для определения мутаций при радиоактивном заражении людей и в научных исследованиях.

Генеалогический метод основан на составлении родословных и изучении характера наследования признака (рис. 174). Анализ родословных и характер распространения признака в популяциях людей помогли ученым установить характер наследования многих признаков (рис. 175). Например, курчавость и цвет волос, цвет глаз, веснушчатость, строение мочки уха, а также гемофилия, дальтонизм, серповидно-клеточ-



Рис. 175. Наследственный признак в династии Габсбургов — «габсбургская губа». Выпяченная нижняя губа и узкая недоразвитая, выступающая вперед нижняя челюсть. 1 — Фердинанд I (1503–1564) — император Священной Римской империи; 2 — Рудольф II (1552–1612) — император Священной Римской империи; 3 — Карл II (1661–1700) — король Испании. Эта же аномалия отмечалась и у последнего представителя этой фамилии — Альфонса XII Испанского, умершего в 1941 г.

Рис. 176. Наследование гемофилии у потомков королевы Виктории. На фото: королева Виктория (сидит в центре); две женщины в боа справа и слева от королевы ее внучки — принцесса Ирен Прусская (урожденная Гессенская) и будущая царица России Александра. Обе женщины носительницы гена гемофилии. В нижней части рисунка представлена родословная королевы Виктории



ная анемия, сахарный диабет, глухота, шизофрения, слепота, шестипалость. Генеалогический метод включает два этапа: сбор сведений о поколениях в семье и генеалогический анализ. При анализе в первую очередь устанавливают, как проявляется исследуемый признак у представителей разного пола, является ли он доминантным или рецессивным, сцеплен ли с другими признаками (рис. 176).

Близнецовый метод состоит в изучении фенотипа и генотипа близнецов. Близнецы бывают однояйцевые и разнояйцевые. Разнояйцевые близнецы (гетерозиготные) образуются из разных зигот в результате оплодотворения двух яйцеклеток двумя сперматозоидами. Они похожи друг на друга не более чем родные братья или сестры, рожденные в разное время. Такие близнецы могут быть однополыми и разнополыми. Однояйцевые близнецы (монозиготные) формируются из одной зиготы, разделившейся на ранней стадии дробления на две части. В этом случае одна оплодотворенная яйцеклетка дает начало не одному, а сразу двум зародышам. Они имеют одинаковый генотип, всегда одного пола и интересны для генетики (рис. 177). Все различия, которые проявляются у однояйцевых близнецов, связаны с влиянием условий среды на генотип.

В настоящее время с помощью различных методов генетики изучены особенности наследования около 2000 признаков у человека.

Наследственные болезни человека. Наследственные болезни человека принято делить на три группы: генные болезни, болезни с наследственной предрасположенностью и хромосомные.

Генные болезни связаны с мутациями отдельных генов. К ним относят большинство наследственных нарушений обмена веществ, например, фенилкетонурию (нарушение обмена аминокислоты фенилаланина, приводящее к слабоумию), гемофилию, дальтонизм, серповидно-клеточную анемию, шестипалость. Все генные болезни наследуются в соответствии с законами Менделя. По типу наследования их делят на аутосомно-доминантные, аутосомно-рецессивные и сцепленные с X-хромосомой.

Болезни с наследственной предрасположенностью вызываются изменением нескольких генов и для свое-

МЕТОДЫ ГЕНЕТИКИ

- цитогенетический
- генеалогический
- близнецовый

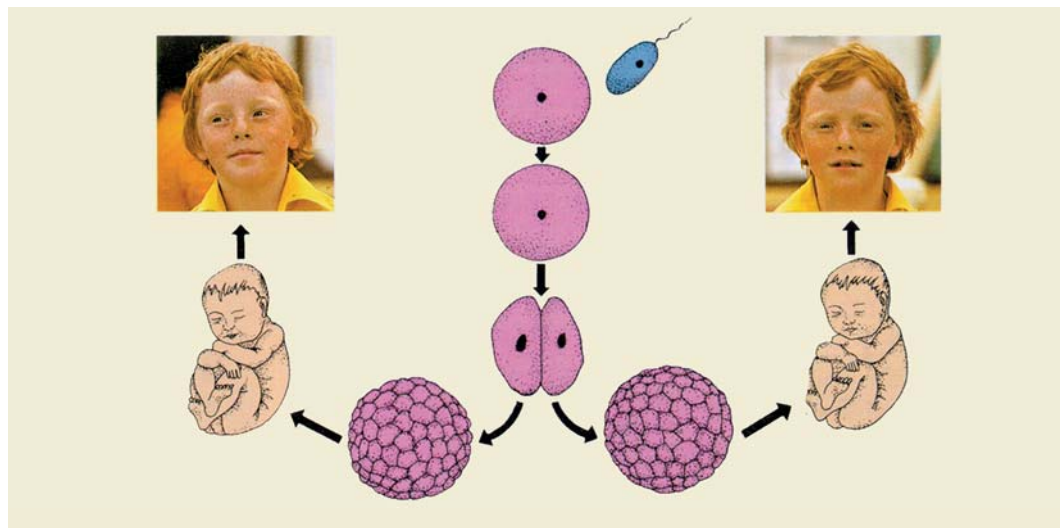
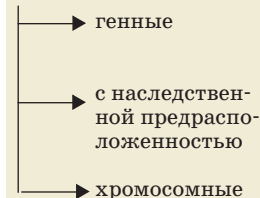


Рис. 177. Схема образования однояйцевых близнецов

го проявления требуют определенных условий среды. Такие болезни наиболее распространены и составляют 92% от общего числа наследственных заболеваний. К ним относят ревматизм, ишемическую болезнь сердца, сахарный диабет, бронхиальную астму, мигрень, язвенную болезнь, эпилепсию и др. Немаловажное условие для их проявления – окружающая среда. Так, в промышленно развитых странах с плохим состоянием окружающей среды и высоким темпом жизни аллергическими заболеваниями страдают 10%, а гипертонией – около 30% населения.

Хромосомные болезни связаны с изменениями в структурах и числе хромосом, т.е. с хромосомными и геномными мутациями. Хромосомные болезни – частая форма патологии: 6 из 1000 новорожденных детей имеют хромосомные изменения. Почти все хромосомные болезни проявляются как нарушение умственного развития или как врожденные пороки. Геномные мутации связаны с появлением лишних хромосом или с их утратой. Чаще всего встречаются мутации по половым хромосомам. Например, при ХХУ (47), ХУУ (47) у лиц с мужским фенотипом, или у женщин – трисомия ХХХ (47) и моносомия ХО (45).

НАСЛЕДСТВЕННЫЕ БОЛЕЗНИ ЧЕЛОВЕКА



Причины хромосомных и геномных мутаций установить сложно. Это могут быть физические, химические и биологические факторы. Однако риск рождения ребенка с трисомией возрастает у женщин с возрастом. Например, для женщин в 45 лет этот риск в 60 раз больше, чем в 19–24 года. Очень молодые женщины (моложе 14–15 лет) также имеют повышенный риск рождения ребенка с хромосомными и геномными мутациями.

Медико-генетическое консультирование. Для профилактики наследственных болезней человека проводят *медико-генетическое консультирование*. Основная его цель – предупреждение рождения детей с тяжелыми наследственными недугами. Консультирование начинается с составления генеалогической карты (родословной) и уточнения диагноза. Врач-генетик проводит анализ родословной и прогнозирует вероятность рождения больного ребенка.

Кабинеты медицинской генетики созданы в поликлиниках всех крупных городов России. Работа в них врачей-генетиков дает возможность:

- 1) оказывать помощь семьям, в которых встречаются наследственные болезни;
- 2) объяснять супругам степень риска рождения больного ребенка;
- 3) предупреждать родственные браки, в результате которых вероятность рождения больного ребенка увеличивается в несколько раз;
- 4) выявлять в семьях носителей генов, отвечающих за развитие болезней;
- 5) проводить дородовую диагностику наследственных болезней человека.

Наиболее эффективна дородовая диагностика. Она направлена на выявление хромосомных и геномных мутаций у развивающегося плода. Широко распространено исследование околоплодной жидкости (рис. 178). Оно позволяет проводить цитогенетический анализ хромосом плода. Ультразвуковое исследование (УЗИ) дает возможность установить пороки развития конечностей, почек, сердца, головного мозга и др.

Значение медицинской генетики. В генетике и медицине наряду с термином «наследственные болезни» существует термин *врожденные болезни*. Их разгра-

ВРОЖДЕННЫЕ БОЛЕЗНИ ЧЕЛОВЕКА

- наследственные
- приобретенные в процессе зародышевого развития

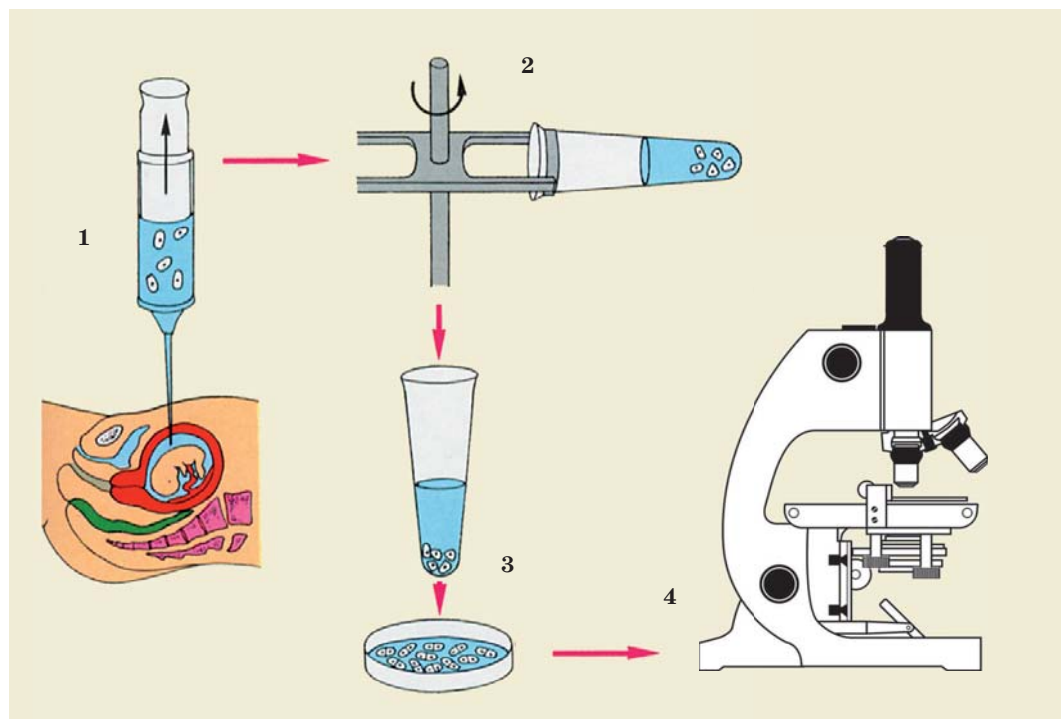


Рис. 178. Цитогенетическое исследование хромосом плода: 1 – забор околоплодной жидкости, содержащей клетки плода; 2 – центрифугирование околоплодной жидкости для отделения клеток плода; 3 – посев клеток плода с целью получения культуры клеток; 4 – изучение хромосом в делящихся клетках с помощью микроскопа

ничество имеет важное значение при прогнозировании потомства в семье. К наследственным относят болезни, связанные с нарушением генетического (наследственного) аппарата половых клеток родителей. Врожденные болезни проявляются при рождении, что говорит лишь о времени их появления, а не о причинах. Они могут быть наследственными или возникнуть в процессе зародышевого развития. В последнем случае они не передаются по наследству, а связаны с воздействием вредных факторов на организм беременной женщины. К таким факторам относят вирусные и бактериальные инфекции, употребление наркотиков, алкоголя, токсических веществ, ряда лекарств, а также различные виды ионизирующего излучения. К особенно тяжелым последствиям приводит воздействие вредных факторов

на ранних сроках беременности (от 2 до 20 недель), когда идет закладка тканей и органов эмбриона.

Для успешного медико-генетического консультирования необходима пропаганда генетических знаний среди населения и осведомленность о наследственных болезнях. Медицина не может изменить генетическую природу человека, однако она обладает методами и средствами для лечения и предупреждения наследственных болезней человека.



Методы генетики человека: цитогенетический; генеалогический, близнецовый, наследственные болезни: генные, с наследственной предрасположенностью, хромосомные; медико-генетическое консультирование, врожденные болезни.



1. Чем различаются кариотипы мужчины и женщины? 2. У любого ребенка есть признаки, характерные для его матери и отца. Тем не менее даже среди близких родственников не найти двух абсолютно одинаковых людей. Объясните, почему. 3. Охарактеризуйте основные методы генетики человека. 4. Какие виды наследственных болезней встречаются у людей? Приведите их примеры. 5. В чем сущность медико-генетического консультирования? 6. Человек получил дозу ионизирующего излучения. К чему это может привести? 7. Повреждение каких клеток человека наиболее опасно для последующего поколения? Для мужчин или для женщин это повреждение более опасно? Ответ поясните.

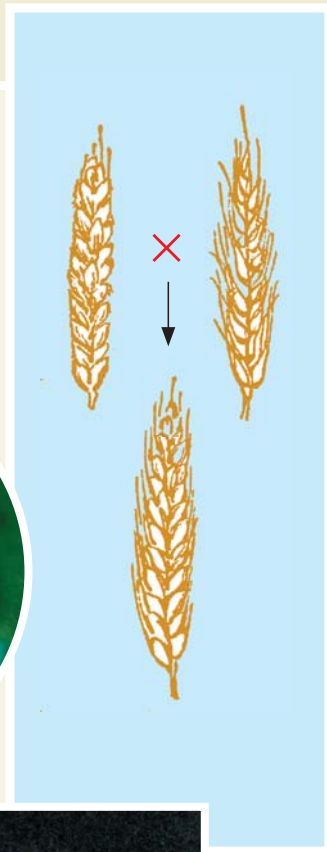
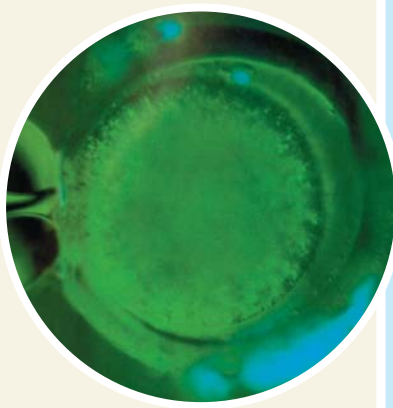


Используя стандартные символы (см. рис. 174), составьте родословную своей семьи. Обозначьте себя, своих братьев, сестер, родителей, дядей и тетей, а также ваших бабушек и дедушек по материнской и отцовской линии. Рядом с обозначениями поставьте возраст лиц, внесенных в родословную. Результаты работы оформите в виде проекта.



В России первые кабинеты медико-генетического консультирования появились в 1967 г. в Москве и Ленинграде. Консультирование начинается с составления генеалогической карты, уточнения диагноза, биохимического и цитогенетического исследований. Далее врач-генетик проводит анализ родословной и прогнозирует вероятность рождения больного ребенка. При составлении прогноза учитывается характер наследственного заболевания, его повторение среди родственников. Врач оценивает генетический риск и дает рекомендации. Степень риска выражается в процентах. Считается, что 0–10% – низкая степень риска, 11–20% – средняя, а более 21% – высокая. В этом случае деторождение в данной семье не рекомендуется.

СЕЛЕКЦИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ



§ 32.

СЕЛЕКЦИЯ КАК ПРОЦЕСС И НАУКА

Вспомните, когда и почему человек стал выращивать культурные растения и разводить домашних животных. Каковы движущие силы создания сортов культурных растений и пород домашних животных?

Селекция (от лат. *selectio* – выбор, отбор) – наука о методах выведения новых и улучшения существующих сортов культурных растений, пород домашних животных и штаммов микроорганизмов. *Сорт, порода* и *штамм* – это группы созданных человеком культурных форм организмов, обладающих передающимися по наследству хозяйственно ценными признаками.

Зарождение и развитие селекции. С давних пор человек для своих хозяйственных и иных нужд вел промысел диких животных и собирал дикорастущие растения. С ростом народонаселения Земли и расширением его оседлости природа уже была не в состоянии удовлетворять потребности людей в пище, одежде и других ресурсах. Человек оказался перед необходимостью целенаправленного выращивания и разведения необходимых ему организмов.

Начальным этапом селекции стала *доместикация* (от лат. *domesticus* – домашний) – превращение диких организмов в культурные. Одними из первых в этом ряду стали зерновые злаки. Так, возделывание пшеницы и ячменя на Ближнем Востоке в Древнем Египте началось примерно 10 тыс. лет назад (рис. 179). С давних времен известны в земледельческой культуре кукуруза, рис, виноград, маслина, лен, кокосовая пальма. К числу сравнительно недавно окультуренных растений принадлежит сахарная свекла, которую люди стали выращивать лишь в последние два столетия ради того, чтобы сделать зоны умеренного климата менее зависимыми от тропических областей, где возделывается сахарный тростник – основной источник сахара. За всю свою историю человечество окультурило свыше 150 видов растений, из которых в настоящее время наиболее широко выращивается около 20 видов.

СЕЛЕКЦИЯ

- доместикация
- примитивная
- комбинационная



Рис. 179. Изображение уборки урожая пшеницы на древнеегипетской фреске: жатва, вязание снопов и их перевозка, укладка в скирды и обмолот

► Большой вклад в изучение центров доместикации культурных растений внес Н.И. Вавилов. В 1920–1940 гг. он вместе со своими сотрудниками в результате многочисленных экспедиций изучил географическое распространение около 1600 видов культурных растений всего Земного шара и установил их *центры многообразия и происхождения* (рис. 180). В 1926 г. Н.И. Вавиловым была заложена коллекция семян культурных растений, которая постоянно пополняется и используется селекционерами для работы по созданию новых сортов культурных растений. В настоящее время эта коллекция, хранящаяся в Санкт-Петербурге, насчитывает свыше 320 тыс. образцов из более тысячи видов растений. ◀

С распространением земледелия важную роль в хозяйственной деятельности человека стали играть домашние животные. Процесс одомашнивания животных был более сложным и длительным, чем окультуривание растений. Человек одомашнил лишь 0,004%

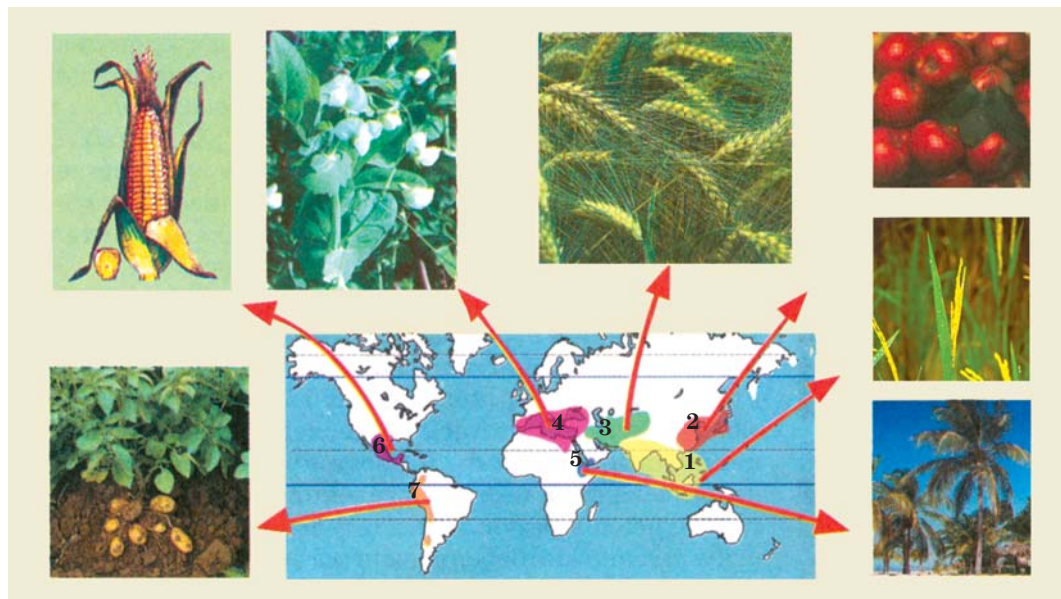


Рис. 180. Центры многообразия и происхождения культурных растений (по Н.И. Вавилову): 1 – Тропический, или Индомалайский (рис, сахарный тростник, банан); 2 – Восточноазиатский (яблоня, апельсин, слива); 3 – Юго-Западноазиатский (мягкая пшеница, горох, хлопчатник); 4 – Средиземноморский (капуста, маслина, свекла); 5 – Абиссинский (твердая пшеница, ячмень, кофе); 6 – Центральноамериканский (кукуруза, перец, фасоль); 7 – Андийский (картофель, табак, ананас)

фауны планеты: около 60 видов млекопитающих, 12 видов птиц, 7 видов рыб и 5 видов насекомых. Центры происхождения домашних животных, так же, как и центры происхождения культурных растений совпадают с очагами древнейших цивилизаций. Эти области в основном определены ареалами обитания диких предков домашних животных (табл. 11).

Примитивная селекция, которой занимались древние земледельцы и скотоводы, состояла в стихийном (бессознательном) отборе для размножения лучших растений и животных, более плодовых и хорошо приспособленных к существованию рядом с человеком. С развитием сельского хозяйства и успехами в изучении наследственности и изменчивости организмов появилась *комбинационная селекция*, основанная на методическом (сознательном) отборе особей и их дальнейшем скрещивании с целью получения желаемого сочетания признаков у гибридов.

Центры происхождения некоторых домашних животных

Домашнее животное	Дикий предок	Первичный очаг одомашнивания	Время доместикации, тыс. лет назад
Собака	Волк, шакал	Европа, Передняя Азия, Сибирь	15–10
Овца	Азиатский муфлон	Передняя Азия	10–9
Корова	Тур	Малая Азия, Европа	8–6
Лошадь	Тарпан	Евроазиатские степи	6–5
Курица	Банкивская курица	Южная и Юго-Восточная Азия	6–5
Кошка	Дикая кошка	Сев. Африка, Ближний Восток	5
Пчела	Дикая пчела	Тропики и субтропики	5
Кролик	Дикий кролик	Европа	3
Индюк	Дикий индюк	Северная Мексика	2

Как наука селекция оформилась благодаря трудам Ч. Дарвина, создавшего учение об искусственном отборе. Материалом для искусственного отбора служит наследственная изменчивость организмов. Природа представляет наследственные изменения, а человек отбирает среди них полезные для себя, сохраняет и размножает отдельных особей с нужными ему признаками. Так, сравнив около 150 пород домашних голубей, Ч. Дарвин пришел к выводу, что все они выведены путем искусственного отбора от одного дикого предка – сизого скалистого голубя (рис. 181).

Методы и задачи селекции. Теоретической базой селекции служит генетика. Помимо закономерностей наследственности и изменчивости, для селекционной работы важное значение имеет также учение о гене и молекулярных основах наследственности.

Основные методы работы селекционеров – *гибридизация (скрещивание)* и *искусственный отбор*. Некоторые методы селекции человек использует с давних времен. Так, еще в XIV в. до н.э. в Хеттском государстве, расположенном на территории Передней Азии,

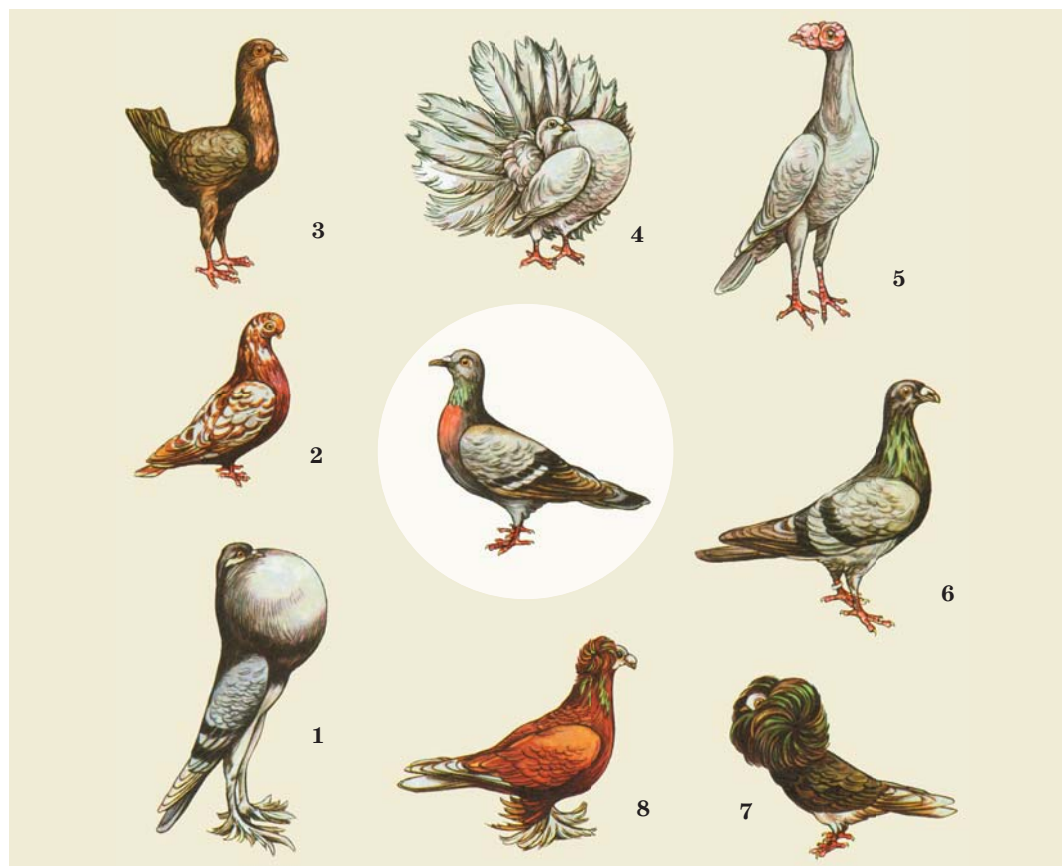


Рис. 181. Породы голубей и их предок – сизый скалистый голубь (в центре): 1 – дутыш; 2 – турман короткоклювый; 3 – мальтезер; 4 – павлиний; 5 – богдетта; 6 – почтовый; 7 – якобинец; 8 – трубастый голубь

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ БАЗА СЕЛЕКЦИИ

- закономерности наследственности
- закономерности изменчивости
- учение о гене

появился трактат о коневодстве. Он содержал описание схем скрещивания лошадей и дошел до нас в виде клинописной глиняной таблички (рис. 182).

Другие методы селекционной работы появились сравнительно недавно. Например, благодаря открытию мутаций в начале XX в., в селекции растений и микроорганизмов селекционеры стали широко использовать *искусственный мутагенез*. Он резко повысил уровень наследственной изменчивости у организмов под влиянием радиоактивного излучения и некоторых химических соединений-мутагенов.

Селекция как область практической деятельности призвана обеспечить продовольственную безопасность человечества, численность которого неуклонно растет. Поэтому основная задача селекции — повышение продуктивности существующих культурных форм организмов, а также выведение новых, еще более продуктивных сортов, пород и штаммов.

Созданные селекционерами новые сорта растений совершили так называемую «зеленую революцию» в земледелии Индии, Мексики, Аргентины и других стран мира. Например, внедрение в растениеводство полученных в результате искусственных мутаций низкорослых, карликовых сортов злаков (риса и пшеницы) привело к тому, что все используемые этими культурами питательные вещества стали расходоваться на образование плодов и семян, а не на рост стеблей и листьев (рис. 183). Урожайность таких злаков возросла в 8 раз, и они оказались более устойчивыми к полеганию, поскольку стебли-соломины у них стали толще и крепче, чем у высокорослых сортов.

Помимо высокой продуктивности важно, чтобы полученные культурные формы организмов обладали устойчивостью к заболеваниям, соответствовали климатическим условиям содержания и обеспечивали максимальное проявление у них хозяйственно ценных признаков. Учитывается также и то, чтобы новые сорта и породы обладали калиброванными, т.е. стандартизированными качествами, что облегчало бы их промышленное выращивание и разведение (рис. 184).



Рис. 182. Клинописная глиняная табличка с записью схемы скрещивания пяти поколений лошадей, отличающихся формой гривы. Найдена в верховьях р. Евфрат (возраст около 6 тыс. лет)



Рис. 183. Поля с низкорослыми сортами риса



Рис. 184. На птицефабрике цех клеточных кур-несушек, обладающих калиброванными качествами (вес, яйценоскость), облегчает промышленное разведение домашней птицы



Селекция: примитивная, комбинационная; сорт, порода, штамм; domestикация (одомашнивание); центры многообразия и происхождения культурных растений; методы селекции: гибридизация (скрещивание), искусственный отбор, искусственный мутагенез.



1. Дайте определение селекции. 2. Что такое сорт, порода и штамм? 2. Назовите основные этапы развития селекции. 3. Какое значение для селекции имеет учение Н.И. Вавилова о центрах многообразия и происхождения культурных растений? 4. Что служит теоретической базой селекции? 5. Какое значение для селекции имеет учение Ч. Дарвина об искусственном отборе? 6. Какими методами работают ученые-селекционеры? 7. Назовите основные задачи, стоящие перед современной селекцией. 8. Подумайте, какие растения, животные и микроорганизмы могут быть окультурены и одомашнены в ближайшем будущем. 9. Заполните таблицу (в тетради).

Основные этапы селекции

Название этапа	Краткая характеристика этапа	Время возникновения



В России началом развития комбинационной, т.е. научной селекции, считается 1903 г., связанный с организацией ученым-селекционером Д.Л. Рудзинским при Московском сельскохозяйственном институте (ныне Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева) селекционной станции, на которой были выведены первые в стране сорта зерновых культур и льна. В 1909 г. начала работать Харьковская сельскохозяйственная опытная станция; в 1910–1914 гг. были организованы Саратовская, Безенчукская, Одесская и другие опытные станции, имевшие отделы селекции.

В 1921 г. был принят декрет «О семеноводстве», заложивший основы единой государственной системы селекционно-семеноводческой работы в нашей стране. В последующие годы была создана масштабная сеть научно-исследовательских селекционных станций, организовано государственное сортоиспытание и начато планомерное сортовое районирование культурных растений. Открытый позже Н.И. Вавиловым закон гомологических рядов в наследственной изменчивости, учение о мировых центрах происхождения культурных растений, учение об исходном материале для селекции и иммунитете растений к инфекционным заболеваниям стали широко использоваться селекционерами.

§ 33.

МЕТОДЫ И ДОСТИЖЕНИЯ СЕЛЕКЦИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ

Вспомните, какие формы искусственного отбора используют в селекции. С какой целью человек проводит гибридизацию родительских форм и искусственно повышает частоту мутационной изменчивости у организмов?

Селекция растений и животных имеет много общего. Вместе с тем, существуют отличия, обуславливающие особенности выведения сортов и пород. Так, в отличие от растений, образующих при размножении сотни и тысячи новых особей, животные дают мало потомков, каждый из которых представляет хозяйственную ценность. У многих животных поздно наступает половая зрелость и нет быстрой смены поколений. Большинство животных, в отличие от растений, не размножается вегетативно, что ограничивает при разведении пород получение за короткий срок большого числа особей с нужными признаками.

Массовый и индивидуальный отборы. Основной движущей силой селекции растений и животных служит *искусственный отбор*. Различают две его основные формы – массовый и индивидуальный.

При *массовом отборе* сохраняется группа особей по определенным внешним признакам, поэтому иногда его еще называют отбором по фенотипу. Ведется массовый отбор преимущественно в селекции растений. Например, на поле картофеля произрастает 50 тыс. растений, из которых для посадки на следующий год отбирают 1000 кустов, обладающих ровными, без повреждений, среднего размера клубнями. Таким образом, удается сохранить сортовое качество и осуществить выбраковку особей, не соответствующих сортовому стандарту (рис. 185).

Индивидуальный отбор направлен на совершенствование сортовых и породных качеств культурных форм организмов. При такой форме отбора сохраняются отдельные особи, обладающие нужными признаками, оцениваемыми по качеству потомства, поэтому его



Рис. 185. Картофель сорта Невский



Рис. 186. Животное класса элита-рекорд – результат индивидуального отбора. Девятилетний баран-меринос из Новой Зеландии

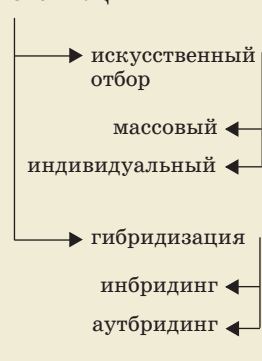
еще называют отбором по генотипу. Индивидуальный отбор трудоемок, но более эффективен, чем массовый, так как закрепляет в поколениях большинство наследственных признаков организмов.

► Индивидуальный отбор применяют как в селекции растений, так и в селекции животных. В последнем случае важна оценка производителей – племенных животных, используемых для разведения, по их *экстерьеру* (от лат. *exterior* – наружный, внешний), т.е. особенностям телосложения, связанного с породными качествами. При осмотре экстерьера отдельные части тела животного, называемые статьями, оцениваются в баллах (максимально – 100 баллов). Животных, получивших выше 80 баллов, относят к классу элита-рекорд (рис. 186), 75 – 80 – к классу элита, 70 – 74 – к первому классу, 65 – 69 – ко второму классу. Животных, набравших при оценке экстерьера менее 65 баллов, считают неклассными и в селекции не используют. ◀

Близкородственное скрещивание. С целью стабилизации признаков сорта или породы, в селекции проводят близкородственное скрещивание организмов – *инбридинг* (от англ. *in* – внутри и *breeding* – разведение). В селекции растений это достигается путем самоопыления, а в селекции животных такое скрещивание ведут между потомками одной родительской пары. В результате инбридинга снижается жизнеспособность особей и даже наблюдаются случаи гибели потомства при проявлении вредных мутаций.

Полученное в результате инбридинга потомство – *чистая линия*. Оно по большинству генов гомозиготно и не дает расщепления признаков в поколениях. Чистые линии используют в дальнейшем для скрещивания с целью получения гетерозигот, отличающихся от гомозиготных родительских форм более высокими жизнеспособностью и продуктивностью. Такое превосходство гетерозиготного гибридного потомства над родительскими формами называют *гетерозисом* (от греч. *heteroiosis* – изменение, превращение), или *гибридной силой*. Причиной гетерозиса служит объединение у гибридного поколения благоприятных доминантных генов и устранение вредного действия рецессивных генов. В поколениях гетерозис затухает. Поэтому

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ СЕЛЕКЦИИ



для его проявления необходимо постоянно вести скрещивание родительских форм, принадлежащих к разным чистым линиям.

Примером получения гетерозисного потомства от скрещивания чистых линий может служить селекция кукурузы. Растения исходного сорта со средней урожайностью подвергают 5–6 раз инбридингу, в результате чего выводят несколько чистых линий, которые затем скрещивают, получая простые и двойные межлинейные гибриды, отличающиеся необычайно высокой урожайностью (рис. 187).

Повышение урожайности гетерозисных растений на 20–30% по сравнению с исходным сортом оправдывает предварительные усилия ученых-селекционеров по созданию чистых линий. Кроме кукурузы, межлинейная гибридизация используется в селекции томатов, огурцов и подсолнечника.

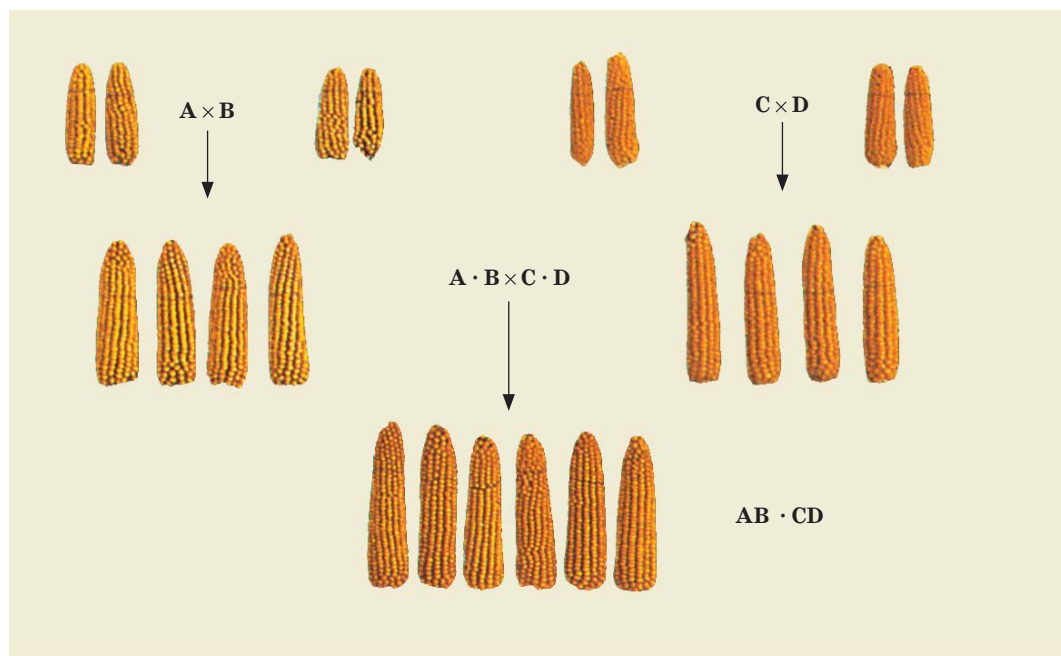


Рис. 187. Двойная межлинейная гибридизация кукурузы. Обозначив исходные чистые линии символами А, В, С и D, создание простых межлинейных гибридов можно обозначить как $A \cdot B$ и $C \cdot D$, а полученный в результате скрещивания двух простых гибридов двойной межлинейный гибрид как $AB \cdot CD$.



Рис. 188. Многообразие сортов тюльпанов – результат межсортовой гибридизации этих растений

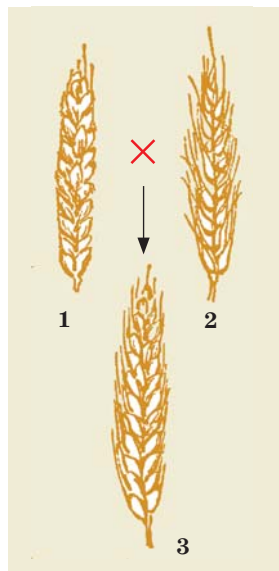


Рис. 189. Колосья пшеницы (1), ржи (2) и тритикале (3)

Неродственное скрещивание. Скрещивание неродственных организмов, принадлежащих к одному или разным видам и даже разным родам, называют *аутбридингом* (от англ. *out* – вне и *breeding* – разведение). В селекции растений как разновидность аутбридинга наиболее распространена *внутривидовая гибридизация*, т.е. скрещивание растений одного вида, но относящихся к разным сортам. Гибридизацию проводят для получения расщепления признаков у гибридов с последующим отбором лучших потомков. Например, в селекции тюльпанов и роз широко применяют межсортовую гибридизацию, дающую возможность вывести новые сорта, отличающиеся окраской и формой цветков (рис. 188).

В селекции животных межпородное скрещивание ведут в основном с целью получения гетерозиса. Например, скрещивание двух мясных пород домашних кур (Корниш и Белый примутрок) дает гибридное потомство – цыплят-бройлеров, отличающихся от родительских форм интенсивным ростом, низкими затратами корма на выращивание и нежным питательным мясом.

Скрещивание организмов, относящихся к разным видам и родам, называют *отдаленной гибридизацией*. Цель такой гибридизации – получение особей, сочетающих в себе ценные признаки и свойства разных видов и родов. Однако между представителями разных видов гибридизация происходит труднее, чем внутри одного вида. Особи разных видов обычно не скрещиваются, но даже если такое скрещивание произошло, то образующиеся гибриды, как правило, бесплодны.

Серьезные успехи достигнуты в отдаленной гибридизации зерновых культур. Получены гибриды пшеницы и ржи – тритикале (от латинских названий родителей: пшеницы – *Triticum* и ржи – *Secale*), отличающиеся высоким содержанием белка в зерне, урожайностью, быстрым ростом и прочностью соломин (рис. 189). Больших успехов в отдаленной гиб-

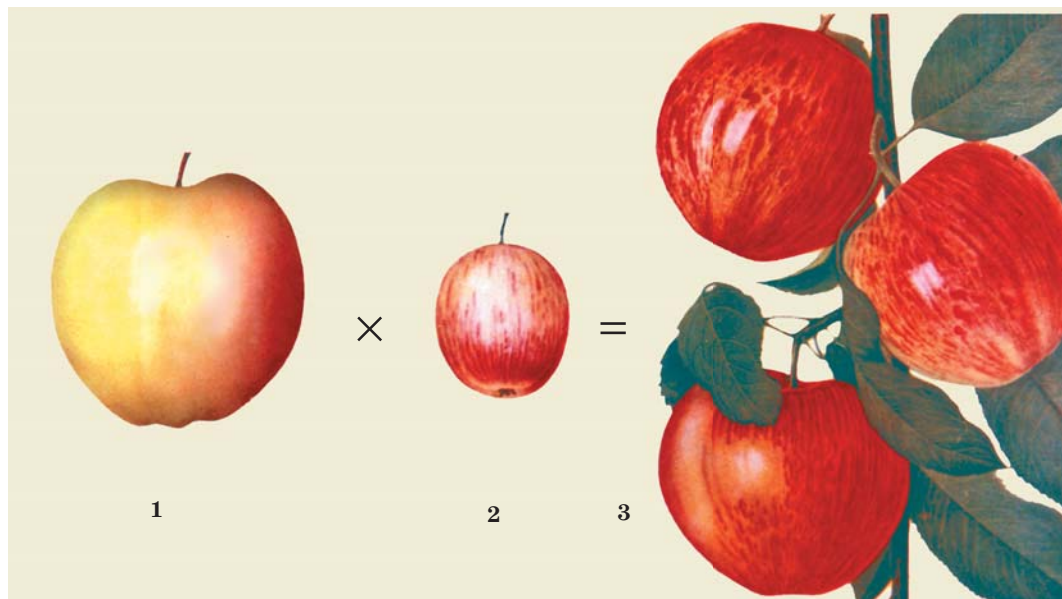


Рис. 191. Гибридный сорт яблони Бельфлер-китайка (3), полученный в результате отдаленной гибридизации сорта Бельфлера желтого (1) с китайской яблоней (2)

ридизации растений добился русский селекционер Иван Владимирович Мичурин (рис. 190). Разработав специальные методы преодоления нескрещиваемости и управления доминированием, он создал десятки сортов яблони, груши, вишни, сливы, ягодных культур, объединив в них ценные свойства родительских форм, в том числе зимостойкость северных сортов с прекрасными вкусовыми качествами южных (рис. 191).

Среди достижений отдаленной гибридизации у животных можно отметить создание гибридов овец с диким бараном архаром, домашних свиней с кабаном, петуха с индейкой, осетровых и карпообразных рыб. Гибридное потомство у животных обладает значительной гибридной силой. Например, мулы – гибриды самки лошади и самца осла (рис. 192), выносливее лошадей, а от ослов отличаются бóльшим ростом, что делает их незаменимыми для перевозки грузов в горах. Мулы устойчивы к заболеланиям, нетребовательны к пище и условиям содержания. Продолжительность их жизни в два-три раза больше, чем у лошадей и ослов. Однако

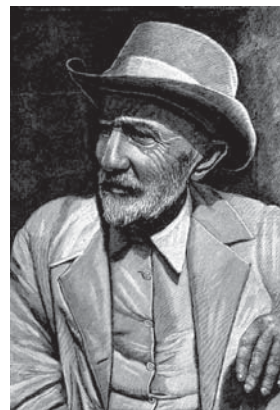


Рис. 190. Иван Владимирович Мичурин (1855–1935)



Рис. 192. Мул — межвидовой гибрид лошади с ослом

мулы бесплодны, поэтому скрещивание лошадей с ослами ограничивают только получением гибридов первого поколения.

Искусственный мутагенез и получение полиплоидов. С целью повышения доли наследственной изменчивости у организмов в селекции применяют *искусственный мутагенез*, вызывая его действием различных физических и химических факторов. Так, гамма-лучи и некоторые химические соединения (иприт, колхицин) в десятки раз увеличивают частоту мутационной изменчивости у организмов, поставляя тем самым материал для искусственного отбора. В мире сейчас используется более 200 сортов сельскохозяйственных расте-

ний, созданных с помощью радиационного и химического мутагенеза. Среди них сорта пшеницы, кукурузы, риса, сои, томатов, подсолнечника, хлопчатника и декоративных растений. Особое значение для селекции имеют мутации, связанные с увеличением хромосомного набора организмов, т.е. полиплоидия.

Получение полиплоидов нашло широкое применение при выведении сортов кормовых трав и овощных культур, выращиваемых ради зеленой массы и корнеплодов. Например, созданы высокосахаристые триплоидные сорта сахарной свеклы, тетраплоидные сорта винограда, имеющие крупные и вкусные плоды. Используя главный недостаток полиплоидов — пониженную завязываемость семян, — успешно культивируются бессемянные сорта арбузов, дынь и огурцов. Широко используют полиплоидию в селекции декоративных растений. Почти все основные сорта георгинов, гиацинтов, нарциссов, гладиолусов и хризантем представлены полиплоидными формами, отличающимися от диплоидных растений более крупными и яркими цветками, махровостью, тонким ароматом и лучшей сохранностью при транспортировке (рис. 193).

Итак, используя разные формы искусственного отбора и скрещивания, а также искусственный мутагенез и полиплоидию, ученые-селекционеры улучшают существующие и выводят новые сорта культурных растений и породы домашних животных (табл. 12).



Рис. 193. Полиплоидная форма гладиолуса

Некоторые достижения селекции растений и животных в России

Ученый-селекционер	Основные выведенные сорта и породы
И.В. Мичурин	Груша Бере-зимняя Мичурина, яблоня Бельфлер-китайка, вишня Плодородная Мичурина, Гранатная рябина
П.П. Лукьяненко	Озимые пшеницы Безостая, Аврора, Кавказ
А.П. Шехурдин	Яровая пшеница Саратовская
В.С. Пустовойт	Масличные подсолнечники Передовик, Юбилейный
Н.В. Цицин	Пшенично-ржаные, пшенично-пырейные гибриды
М.Ф. Иванов	Мясо-сальная порода свиней Украинская белая степная
Я.Я. Лусис, Н.С. Бутарин	Овцы тонкорунной породы Архаромеринос
Б.Л. Астауров	Полиплоидные породы тутового шелкопряда



Искусственный отбор: массовый и индивидуальный; экстерьер; скрещивание: родственное (инбридинг), неродственное (аутбридинг); чистая линия, гетерозис (гибридная сила); гибридизация внутривидовая и отдаленная; искусственный мутагенез, получение полиплоидов.



1. Охарактеризуйте искусственный отбор как метод селекции. 2. Что такое экстерьер? Почему в селекции животных важна его оценка? 3. С какой целью проводят близкородственное скрещивание (инбридинг)? 4. Садовод-любитель посеял семена гетерозисных гибридов огурцов и получил высокий урожай. Однако на следующий год из семян, собранных с этих растений, выросшие огурцы такого урожая не дали. Объясните наблюдаемое явление с позиций генетики. 5. С какой целью проводят неродственное скрещивание (аутбридинг)? Чем внутривидовая гибридизация отличается от отдаленной? Приведите их примеры. 6. Какое значение для селекции имеет искусственный мутагенез и получение полиплоидов?



Используя справочную литературу и Интернет, составьте характеристику 2–3 сортов (пород) культурных форм организмов. Отметьте в ней название сорта (породы), ценные хозяйственные качества, особенности внешнего строения (сопроводите отчет фотографиями). Результаты работы оформите в виде проекта.

§ 34. БИОТЕХНОЛОГИЯ

Вспомните, какие биологические системы и процессы человек использует для получения продуктов питания, промышленного сырья и производства лекарственных препаратов.



Рис. 194. Александер Флеминг (1881–1955) – первооткрыватель пенициллина

Изучение процессов жизнедеятельности клетки и организма, выяснение природы наследственности послужили основой для развития *биотехнологии* – прикладной науки, использующей биологические системы и процессы в различных областях сельского хозяйства и промышленности. И хотя термин «биотехнология» появился лишь в 70-х гг. XX в., человек издавна использовал для своих нужд биотехнологические процессы: хлебопечение, приготовление кефира, простокваши, сыра, вина, пива и др.

Микробиологическая технология. Наиболее значительные практические достижения в биотехнологии связаны с *микробиологической технологией*. Она основана на культивировании специально выведенных штаммов бактерий и грибов для промышленного получения антибиотиков, гормонов, витаминов, ферментов, кормовых белков и т.п.

В 1928 г. английский ученый А. Флеминг (рис. 194) обнаружил, что плесневый гриб-пеницилл вырабатывает вещество, убивающее бактерий (рис. 195). Оно было названо пенициллином, и его открытие явилось началом эры антибиотиков в медицине. Однако первый штамм пеницилла оказался неудобным для промышленного разведения: гриб развивался на поверхности питательной среды, и количество выделяемого антибиотика было незначительным. Благодаря селекционной работе, основанной на радиационном мутагенезе и искусственном отборе, ученым удалось создать штаммы гриба, продуктивность которых увеличилась в 10 тыс. раз по сравнению с исходными формами.

В производстве кормового белка используются особые штаммы грибов-дрожжей. В специальных аппаратах – биореакторах они сбрасывают растительное сырье, главным образом солому, являющуюся отходом

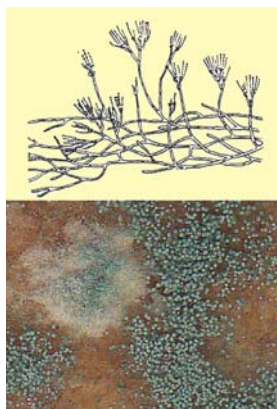


Рис. 195. Гриб-пеницилл на питательной среде

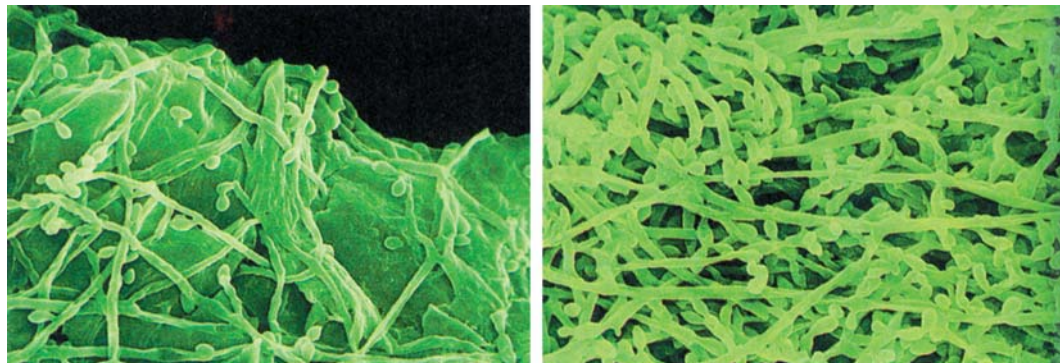


Рис. 196. Разрушая солому, штаммы дрожжей наращивают свою биомассу: слева – микрофотография, сделанная через 12 часов; справа – через 48 часов

растениеводства (рис. 196). Скорость накопления дрожжами белка в 100 тыс. раз выше, чем у всех других известных организмов. С 1 м³ биореактора за сутки получают 30 кг белка, что эквивалентно суточному приросту биомассы стада из 100 коров. Белок затем используется как ценная питательная добавка в корма сельскохозяйственных животных.

Селекционерами выведены дрожжи, способные синтезировать белок из углеводов нефти, что позволяет их использовать для биологической очистки водоемов от промышленного загрязнения мазутом и бензином. Выведены штаммы бактерий, извлекающие ценные металлы, например, золото, медь, марганец из руд и промышленных отходов, что открывает новые направления в развитии металлургии.

Биоинженеринг. Благодаря открытиям и успехам молекулярной биологии и генетики в биотехнологии со второй половины XX в. бурно развивается *биоинженеринг*, представленный двумя основными направлениями: генной и клеточной инженерией.

Генная инженерия заключается в использовании лабораторных методов переноса генетической информации из одного организма в другой. Одна из задач генной инженерии – создание бактериальных клеток, способных в промышленных масштабах синтезировать незаменимые аминокислоты (метионин, триптофан, цистеин), защитные белки-интерфероны и белки-гормоны (соматотропин, инсулин). Основным методом

БИОТЕХНОЛОГИЯ

- микробиологическая технология
- генная инженерия
- клеточная инженерия

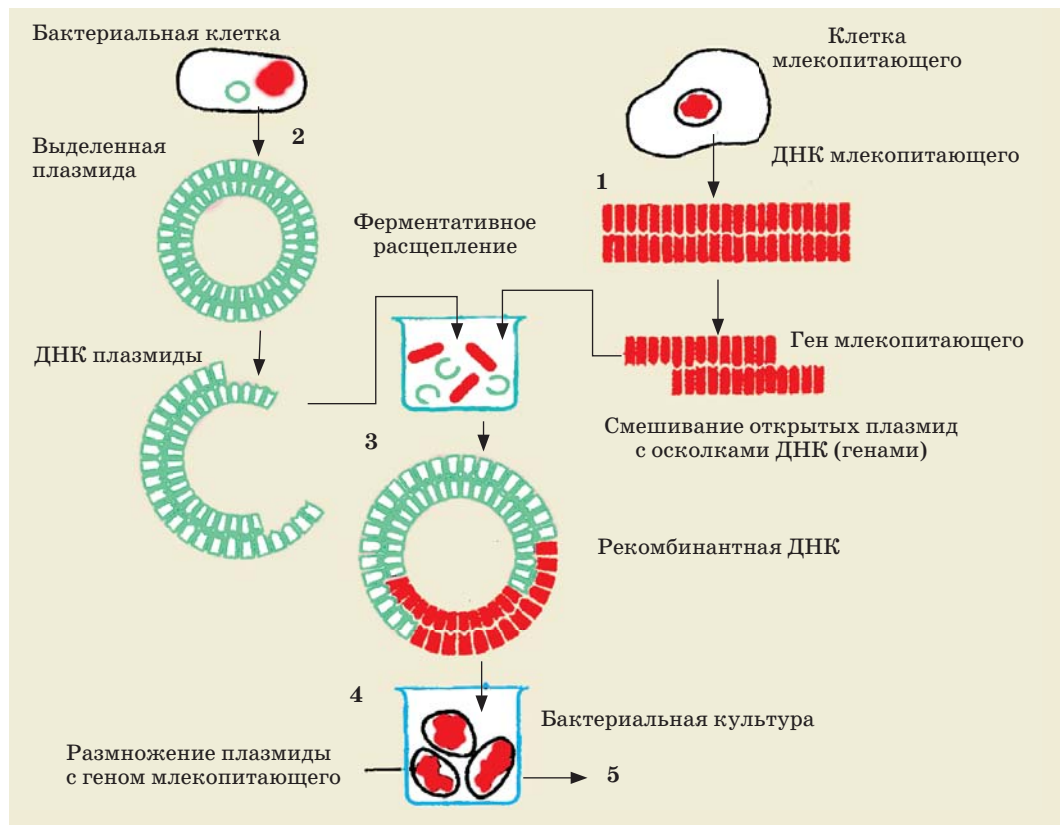


Рис. 197. Этапы создания и введения рекомбинантной ДНК: 1 – выделение гена нужного белка из ДНК донора; 2 – разрезание с помощью ферментов плазмиды бактерии; 3 – встраивание с помощью ферментов нужного гена в плазмиду; 4 – перенос рекомбинантных плазмид в бактериальные клетки; 5 – отбор бактериальных клеток с рекомбинантными плазмидами и их использование для получения нужного белка

генной инженерии служит получение *рекомбинантной ДНК* с последующим ее введением в бактериальную клетку (рис. 197).

Клеточной инженерией называют генетические эксперименты с изолированными клетками многоклеточных организмов, которые позволяют переносить в них гены других организмов и получать новые генотипы с заданными свойствами.

► Предпосылкой к развитию клеточной инженерии стала *клеточная технология* – методы выращивания отдельных соматических клеток на питательных сре-

дах (рис. 198). Несколько клеток, помещенные в питательную среду, в результате митотического деления образуют однородную неспециализированную клеточную массу. При ее разделении и добавлении гормонов, обеспечивающих дифференцировку клеток и рост, получают растения, которые уже можно высаживать на поля. Главное преимущество этого метода размножения растений, по сравнению с семенным, состоит в том, что он позволяет получить за короткое время большое число однородных особей, способных к быстрому росту, обладающих калиброванными качествами и незагрязненных возбудителями болезней.

Культивирование клеток на питательных средах дало возможность ученым, начиная с 60-х гг. XX в., поставить эксперименты по пересадке ядер соматических клеток животных в яйцеклетки, искусственно лишённые ядер (рис. 199). Результатом этих работ стало открытие способности соматических ядер обеспечивать нормальное развитие яйцеклеток в зародыши, что дало возможность разработать способы клонирования высокопродуктивных сельскохозяйственных животных. Например, если взять соматические ядра из клеток коровы класса элита-рекорд и перенести их в безъядерные яйцеклетки обычных коров, то телята, развившиеся из

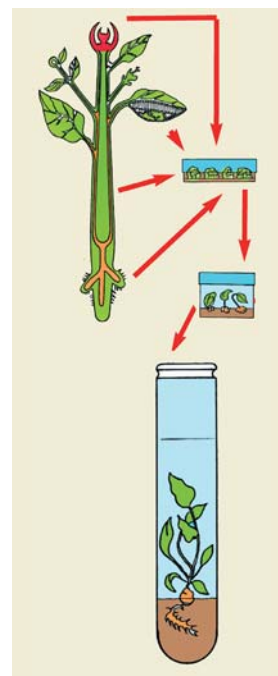


Рис. 198. Культура тканей растения

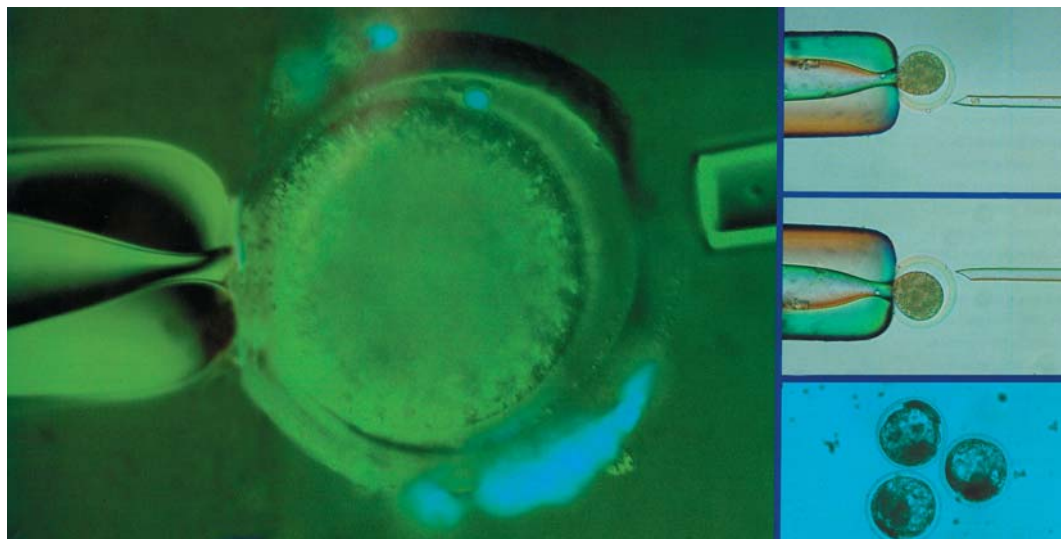


Рис. 199. Внесение ядра соматической клетки в безъядерную яйцеклетку

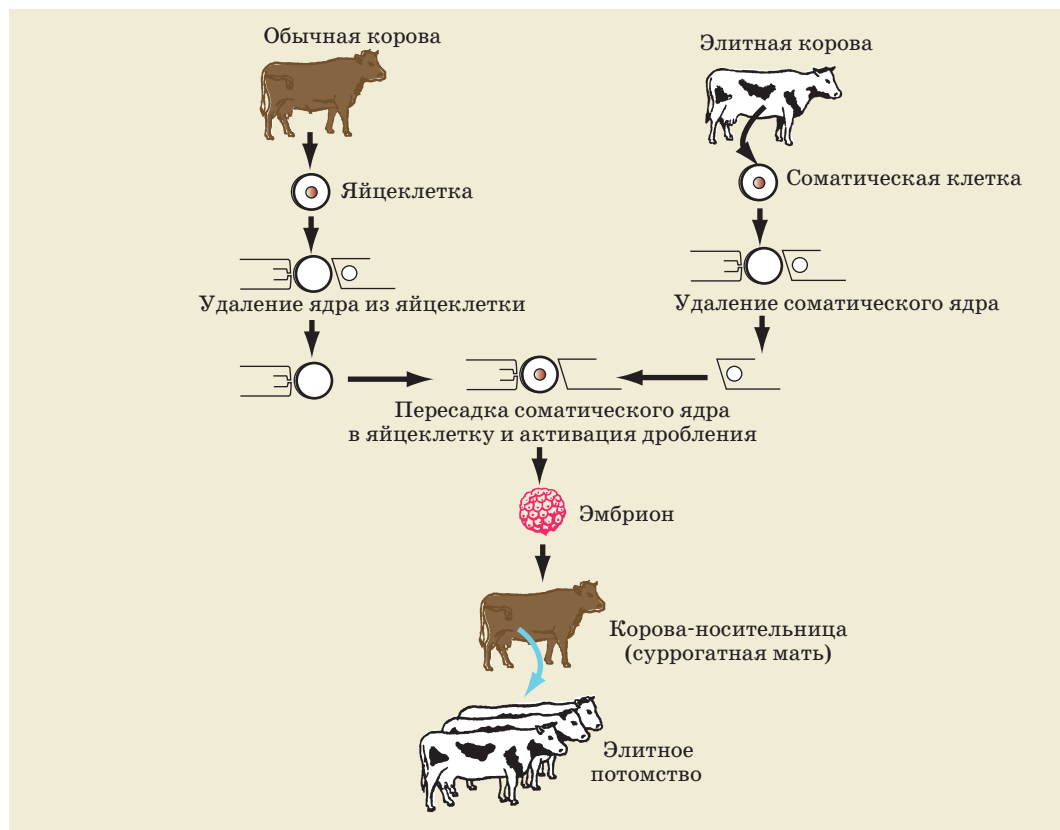


Рис. 200. Схема клонирования высокопродуктивной коровы

зародышей в матках приемных коров-«воспитательниц», полностью сохраняют признаки элитной породы. Таким способом можно получить целые стада животных, обладающих генотипом высокопродуктивной коровы, у которой были взяты ядра клеток (рис. 200). ◀

Исследования развития клеток млекопитающих, в том числе и человека, на питательных средах привели к разработке метода искусственного оплодотворения яйцеклеток сперматозоидами вне организма, т.е. «в пробирке», с дальнейшей имплантацией зародышей в матку. Число «пробирочных» детей уже составляет десятки тысяч, и для бездетных супружеских пар искусственное оплодотворение остается единственной возможностью обзавестись собственным потомством.



Рис. 201. Площади посевов трансгенных культур (сои, кукурузы, хлопчатника, рапса) и страны-лидеры их выращивания

Другой областью биоинженеринга является создание *трансгенных* (от лат. *trans* – сквозь, через), т.е. генетически измененных организмов. Первыми стали табак и петунья, полученные в 1983 г. в Бельгии, Германии и США. Сейчас трансгенные растения выращивают во многих странах мира (рис. 201).

Ученые создают трансгенные организмы для проявления у них новых ценных качеств. Например, если ген азотфиксации клубеньковых бактерий, отвечающий за выработку ферментов, превращающих атмосферный азот в азотистые соединения, «вшить» в генотипы выращиваемых на полях культурных растений, то они будут способны обходиться без подкормки азотными удобрениями. Введение генов, отвечающих за выработку антител, в генотипы сельскохозяйственных растений, позволит человеку в будущем обойтись без лекарств. Использование таких растений в пищу будет снабжать организм антителами, что создаст надежную защиту от инфекций (рис. 202).

Экологические и этические проблемы биоинженеринга. У биоинженеринга, как процесса создания клеток и организмов с новыми признаками, есть сторонники и противники. Первые утверждают, что человечество в ближайшем будущем не сможет обойтись без трансгенных организмов, более продуктивных и устойчивых к болезням и вредителям, чем обычные сорта, породы и штаммы. Это особенно важно, так как размер

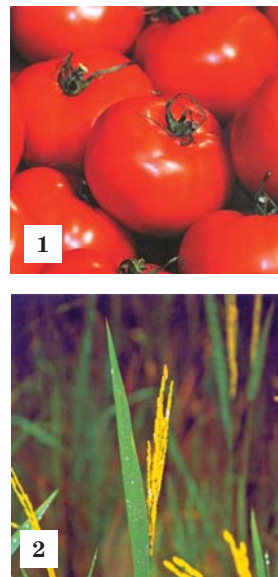


Рис. 202. Трансгенные растения: 1 – томат сорта «Флавр-Савр», созданный в 1994 г. в США – первое съедобное трансгенное растение; 2 – рис с геном моркови обеспечивает жителей Юго-Восточной Азии необходимым для организма витамином А

мировых площадей, пригодных для ведения сельского хозяйства, достиг своего предела, а численность населения Земного шара продолжает расти. Кроме того, экологические последствия применения ядохимикатов в борьбе с болезнями и вредителями могут оказаться более опасными, чем выращивание и использование в пищу трансгенных культур.

Противники биоинженеринга в качестве аргументов приводят факты аллергических реакций человека на произведенные из трансгенных культур *генетически модифицированные продукты (ГМ-продукты)*. Помимо этого, на их взгляд, чрезвычайно трудно будет предсказать экологические последствия, например, одичания и превращения в сорняки устойчивых к болезням и вредителям трансгенных растений.

ГМ-продукты уже появились на прилавках супермаркетов. В соответствии с международными соглашениями по биобезопасности производители обязаны письменно предупреждать потребителей, если в состав продуктов входит более 5% трансгенных культур. Информация об этом наносится на упаковку, так как ГМ-продукты не отличаются от обычных ни внешним видом, ни вкусом (рис. 203).



Рис. 203. Упаковка котлет из курятины, в состав которых входит ГМ-соя



Рис. 204. Овечка Долли со своим первенцем — малышкой Бонни

Есть противники и у метода искусственного оплодотворения человека. Они считают, что преодоление бесплодия путем оплодотворения яйцеклеток «в пробирке» служит примером экспериментов на людях. Подобные эксперименты в обществе всегда строго осуждались. Следовательно, по этическим соображениям такие эксперименты должны быть запрещены. Некоторые ученые полагают, что искусственное оплодотворение сопровождается нарушением структуры хромосом, следствием чего может стать рост числа наследственных заболеваний у человека.

Вызывают возражения и эксперименты по *клонированию*. Так, первое клонированное млекопитающее – овечка Долли (рис. 204) быстро состарилась и умерла от болезни суставов – артрита, вызванного, по мнению большинства ученых, сбоем в реализации наследственной программы организма. Поэтому во многих странах эксперименты по клонированию животных и человека законодательно запрещены.



Биотехнология: микробиологическая технология, генная и клеточная инженерия; рекомбинантная ДНК, ► клеточная технология ◄, клонирование; трансгенные организмы, генетически модифицированные (ГМ) продукты.



1. Что такое биотехнология? 2. На чем основано промышленное получение антибиотиков, гормонов и кормового белка? 3. Что такое генная инженерия? Опишите этапы встраивания чужеродного гена в бактериальную клетку. 4. Чем занимается клеточная инженерия? 5. Какие организмы называют трансгенными? Для чего ученые создают трансгенные организмы? 6. Назовите экологические и нравственно-этические проблемы биоинженеринга. Используя средства массовой информации и Интернет, выясните, чем аргументируют свои позиции сторонники и противники генной и клеточной инженерии. Результаты работы оформите в виде проекта. 7. Заполните таблицу (в тетради).

Биотехнология и ее практическое значение

Отрасли биотехнологии	Основные области практического применения	Примеры

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вы изучили принципы организации и функционирования биологических систем; химический состав, микроскопическое строение эукариотной, прокариотной клеток и вирусов; биологические процессы, протекающие внутри биологических систем, обусловленные обменом веществ, превращением энергии и реализацией генетической программы живого; структурно-функциональную организацию многоклеточных организмов; процессы роста и воспроизведения клеток, тканей и органов; закономерности наследственности и изменчивости; основные этапы, методы и достижения в создании человеком сортов, пород и штаммов культурных форм организмов; использование биологических процессов в различных областях сельского хозяйства, промышленности и медицины. Все эти базовые биологические знания помогут вам ориентироваться в том многообразии живой природы, которое окружает человека, увидеть смысл и назначение биологических знаний для повседневной жизни и вашей будущей профессии.

В современной биологии есть немало проблем, решение которых будет иметь огромное значение для будущего. В их числе более глубокое познание строения и функционирования биологических макромолекул; молекулярного механизма включения генов; регуляции и координации внутриклеточных, тканевых и организменных процессов; индивидуального раз-

вития организма и влияния на него факторов окружающей среды; управляемого белкового биосинтеза, промышленной микробиологии и биоинженеринга. Много вопросов, трудностей и проблем современной биологии ждет своего решения. В значительной мере это будет зависеть от вас. Хочется надеяться, что знания, приобретенные вами при изучении биологии в 10 классе, помогут продолжить изучение биологических систем и процессов в 11 классе на надорганизменных уровнях: популяций и видов, природных и искусственных сообществ, биосферы и ноосферы.

Учебное издание

**Теремов Александр Валентинович
Петросова Рената Арменаковна**

**БИОЛОГИЯ
Биологические системы и процессы
10 класс**

Учебник для учащихся
общеобразовательных учреждений

Зав. редакцией *М.Г. Шмидт*
Редакторы *Н.В. Королёва, Ю.Д. Шиганова*
Зав. художественной редакцией *И.А. Пшеничников*
Верстка *С.В. Иванцов*
Корректор *Т.Я. Кокорева*

Лицензия ИД № 03185 от 10.11.2000.
Сертификат соответствия
№ РОСС RU.AE51.H14939 от 02.12.2010 г.
Подписано в печать 04.10.2010. Формат 70×90/16.
Печать офсетная. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 16,38.
Тираж 50 000 экз. (1-й завод 1–3 000 экз.). Заказ №

Гуманитарный издательский центр ВЛАДОС.
119571, Москва, просп. Вернадского, 88,
Московский педагогический государственный университет.
Тел. 437-11-11, 437-25-52, 437-99-98; тел./факс 735-66-25.
E-mail: vlados@dol.ru
<http://www.vlados.ru>

ОАО «Можайский полиграфический комбинат»
143200, Московская область, г. Можайск, ул. Мира, д. 93
www.oaompk.ru, тел. (495) 745-84-28, (496) 38-24-310

В УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКТ по биологии для 5–11 классов входят учебники, практикумы, тематические и поурочные методические разработки.

Особенность этого комплекта – единый методический замысел, строгая лаконичность и последовательность подачи материала.



УЧЕБНИК содержит:

- двухуровневый текст, предусматривающий изучение биологии в разном объеме и с разной степенью глубины;
- цветные иллюстрации, дополняющие содержание текста;
- таблицы, схемы, задания, позволяющие вычлнить главное и систематизировать изученный материал;
- дополнительные тексты, позволяющие расширить объем знаний, а также подготовиться к сдаче экзамена экстерном.

ISBN 978-5-691-01634-9



ГУМАНИТАРНЫЙ ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

